



**Дингес С.И.**

# **Мобильная связь: ТЕХНОЛОГИЯ DECT**

**Типы систем и приложений DECT**

**Защищенность и безопасность**

**Общий интерфейс CI DECT**

**Принципы синхронизации**

**Нормативные документы**

**Схемотехника устройств**

**Стандартизация DECT**

ISBN 5-98003-032-8



9 785980 030322



**С. И. Дингес**

Мобильная связь: технология DECT / С. И. Дингес — М.: СОЛОН-Пресс, 2003. 272 с. — (Серия «Библиотека инженера»)

ISBN 5-98003-032-8

Рассмотрены основные принципы построения и функционирования систем связи с подвижными объектами. Излагаются характеристики стандарта DECT, профилей доступа и взаимодействия. Рассмотрены различные аспекты функционирования систем DECT. Приведен аналитический обзор вариантов архитектурной и схемотехнической реализации РЧ блоков и отдельных узлов приемопередатчиков таких систем. Представлен список английских сокращений и толковый словарь терминов, используемых в современных системах связи.

Для широкого круга читателей. Может быть полезна специалистам, занимающимся проектированием и эксплуатацией систем и устройств связи, студентам высших и средних специальных заведений, специализирующимся в области связи.

*Эту книгу можно заказать по почте* (наложенным платежом — стоимость 166 руб.) двумя способами:

- 1) выслать почтовую открытку или письмо по адресу: 123242, Москва, а/я 20;
- 2) передать заказ по электронной почте (e-mail) по адресу: [magazin@solon-r.ru](mailto:magazin@solon-r.ru).

Необходимо написать полный адрес, по которому выслать книги.

Обязательно указывать индекс и Ф. И. О. получателя!

При наличии — указать телефон, по которому с вами можно связаться, и адрес электронной почты (E-mail).

**Цена действительна до 15 апреля 2003 г.**

Вы можете в любое время получить свежий каталог издательства «СОЛОН-Пресс» по Интернету, послав пустое письмо на робот-автоответчик по адресу

[katalog@solon-r.ru](mailto:katalog@solon-r.ru),

а также подписаться на рассылку новостей о новых книгах издательства, послав письмо по адресу

[news@solon-r.ru](mailto:news@solon-r.ru)

с текстом «SUBSCRIBE» (без кавычек) в теле письма.

ISBN 5-98003-032-8

© Макет и обложка «СОЛОН-Пресс», 2003

© С. И. Дингес, 2003

# Введение

В работе изложены основные характеристики стандарта DECT и принципы функционирования систем, основанных на этом стандарте. Приведены варианты схемотехнической реализации компонентов этих систем различного назначения.

Некоторые материалы, изложенные в данной работе, по-видимому, не являются откровением для профессионального связиста, владеющего знаниями о современных системах связи. Однако системное изложение основных сведений об общих принципах построения и функционирования систем мобильной связи, очевидно, будет полезным. Такой подход должен усилить информативную ценность книги и расширить сферу ее востребованности и применения. Большое количество интереснейших материалов, к сожалению, оказалось за рамками изложения — особенно это касается способов построения и технической реализации конкретных устройств и систем фирмами-изготовителями, развертывания систем и измерений в DECT.

Не будучи оригинальным, укажу на терминологические трудности, возникающие при работе с иностранными источниками информации. К сожалению, приходится констатировать, что в настоящее время практически отсутствует русскоязычная литература, посвященная описанию РЧ блоков устройств ССПО. Поэтому еще одной задачей, поставленной автором при написании данной работы, является знакомство читателей с англоязычной терминологией, используемой при разработке и эксплуатации радиооборудования ССПО. С этой целью в книге приведено значительное количество англоязычных терминов, с которыми специалистам придется столкнуться в практической деятельности, при пользовании справочными и информационными материалами компаний-разработчиков РЧ компонентов и радиооборудования ССПО. Некоторые из применяющихся в работе терминов не имеют устоявшихся русскоязычных эквивалентов и в последующем, наверное, могут уточняться по мере стандартизации терминологии.

В связи с большим объемом нормативных документов по DECT автору представляется целесообразным привести в работе расши-

ренного терминологического словаря, который может оказаться полезным для заинтересованных лиц при самостоятельной работе с англоязычной литературой. Помещенные в конце книги термины и определения в основном приводятся так, как они трактуются в нормативных документах. В некоторых случаях для более ясного понимания вопроса широким кругом читателей они дополнены необходимыми пояснениями.

Список литературы, приводимый в конце книги, содержит указание на ряд источников, ссылки на которые в тексте книги отсутствуют в силу ее ограниченного объема, но могут быть полезны заинтересованным лицам.

В заключение хочу поблагодарить коллег-связистов, принимавших участие в обсуждении материалов книги, а также членов моей семьи за терпение, помощь и постоянную поддержку. Конструктивные замечания по книге и предложения можно отправить автору по электронному адресу *mobicom@narod.ru* или записать в гостевую книгу на сайте *www.mobicom.narod.ru*.

# 1. Обзор технологии DECT

## Основные принципы функционирования DECT систем

DECT (*Digital Enhanced Cordless Telecommunications*) представляет собой цифровую технологию радиодоступа в телефонные сети общего пользования ТФОП. В силу своего постоянного развития и эволюции в настоящее время DECT используется и в ряде специфических применений, связанных, прежде всего с передачей данных.

Стандартами DECT определены следующие основные технические характеристики системы:

Основной частотный диапазон . . . . .	1880—1900 МГц
Количество частотных каналов . . . . .	10
Ширина канала . . . . .	1,728 МГц
Длительность TDMA кадра . . . . .	10 мс
Длительность TDMA слота . . . . .	0,417 мс
Число слотов в кадре . . . . .	24 (12 дуплексных каналов)
Общее число каналов . . . . .	120
Общая скорость передачи . . . . .	1152 кбит/с
Кодирование речи . . . . .	32 Кбит/с АДКИМ (ADPCM)
Модуляция . . . . .	GFSK (BT = 0,5)
Скорость перемещения абонента . . . . .	до 30 км/ч
Типовая чувствительность приемного устройства . . . . .	-86 дБм
Выходная мощность передающего устройства (сред./пиков.) . . . . .	10/250 мВт
Радиус зоны обслуживания переносного устройства . . . . .	50—300 м
Радиус зоны обслуживания стационарного устройства . . . . .	до 5 км

В технологии DECT применяется метод радиодоступа (*radio access method*) с использованием нескольких несущих, принципа множественного доступа с разделением времени и дуплекса с разделением по времени (*Multi Carrier, Time Division Multiple Access, Time Division Duplex, MC/TDMA/TDD*). Реализуемая наряду с этим методом возможность постоянного динамического выбора (*Dynamic Channel Selection*) и выделения канала позволяют создавать пикосотовые системы большой емкости и использовать их в сильно перегруженной и даже враждебной радиосреде. Эти методы позволяют предоставлять пользователям высококачественные услуги без необходимости осуществлять частотное планирование разворачиваемых DECT систем. В системах эффективно используется выделенный радиоспектр, даже в том случае, когда несколько операторов и несколько приложений работают на одной территории, используя один и тот же частотный диапазон.

На стандарте DECT основаны североамериканские стандарты беспроводной связи PWT (*Personal Wireless Telecommunications*) и PWT-E [5]. В них используется PI/4 DQPSK схема модуляции. Системы PWT работают в нелицензируемом диапазоне 1910—1920 (1920—1930) МГц, где организуется 8 частотных каналов с разносом 1,25 МГц. В системах PWT-E используются лицензируемые диапазоны 1850—1910 МГц и 1930—1990 МГц, и иногда для этих систем используют название DCT1900 (*Digital Cordless Telecommunications*). Для применения в североамериканском частном секторе бесшнуровых телефонов с использованием нелицензируемого диапазона ISM 2,4 ГГц разработан другой вариант DECT — стандарт WDCT (*Worldwide Digital Cordless Telecommunications*). Происходит продвижение стандарта DECT и на другие диапазоны частот, в частности, 3,5 ГГц.

**Основные принципы**, заложенные в стандарт DECT и обеспечившие ему последующую популярность, были разработаны с целью достижения следующих результатов:

- устойчивость функционирования даже в агрессивных радиосредах;
- динамическое назначение ширины используемой полосы частот;
- самоорганизация сетей, позволяющая не заниматься их частотным планированием;

- мобильность абонента в пределах сети;
- гибкая, надежная идентификация и адресация;
- качество передачи речи, сравнимое с качеством, обеспечиваемым в системах проводной телефонии;
- возможность осуществления шифрования передаваемых сообщений;
- высокие достижимые скорости передачи данных, достигающие до 2 Мбит/с;
- средства обнаружения и исправления ошибок типа CRC, ARQ и FEC, обеспечивающие высокую надежность и безопасность передачи данных;
- возможность использования для передачи речи, данных и мультимедиа в частных, деловых и публичных секторах связи;
- работа пикосотовых сетей с возможностью роуминга и высокой плотностью пользователей, достигающей 10000 абонентов на квадратный километр.

## Обобщенная архитектура системы DECT

Основная задача систем DECT, как и любой другой системы связи с подвижными объектами (ССПО) предоставление услуг связи пользователю, поддерживая его мобильность.

**Мобильность, подвижность (*Mobility*):** способность пользователя поддерживать связь (пользоваться услугами системы связи) при перемещении независимого от своего местоположения.

Компоненты сети подвижной связи соединены между собой с помощью стандартизированных интерфейсов (*Interface*). В системах связи под **интерфейсом** понимают общую границу между двумя взаимодействующими системами или компонентами системы [GSM 01.04, ITU-T I.112, 21.905]. Интерфейсы систем связи описываются соответствующими стандартами на системы связи. Стандартизация интерфейсов в системах связи позволяет осуществлять нормальное взаимодействие между компонентами систем связи, поставляемых различными фирмами-производителями. Мобильные станции МС и подсистема базовых станций БС взаимодействуют через интерфейс, известный как **эфирный интерфейс** или **радиоинтер-**

фейс (*Radio interface*). В соответствующих стандартах детально прописываются параметры используемых в системе связи радиосигналов, характеристики и основы функционирования приемников и передатчиков, необходимых для формирования обработки этих сигналов. Подвижный пользователь системы связи с подвижными объектами для осуществления вхождения в ССПО и получения доступа к той или иной услуге должен иметь в своем распоряжении абонентское устройство АУ, согласованное по параметрам и характеристикам с используемым в системе радиоинтерфейсом.

Технология DECT предназначена для использования в различных приложениях от простых беспроводных домашних телефонов до микросотовых сетей общего пользования. Как правило, системы подвижной связи имеют каноническую, достаточно жестко конфигурированную структуру, определяемую соответствующими нормативными документами. Например, в сотовых системах GSM базовая приемопередающая станция BTS всегда соединена с контроллером базовой станции, BTS связан с мобильным центром коммутации MSC и так далее. Системы же DECT, в зависимости от реализуемого приложения, могут быть сконфигурированы различным образом. Разработчикам оборудования следует лишь придерживаться прописанных в стандарте параметров радиоинтерфейса и принципов его организации в системе.

На рис. 1.1 приведена обобщенная структура системы DECT. Беспроводная система DECT связывается с другими сетями, например, с телефонной сетью общего пользования через блок межсетевое взаимодействия IWU (*Interworking Unit*). Этот блок, не являющийся частью основного стандарта, выполняет функции межсетевого взаимо-

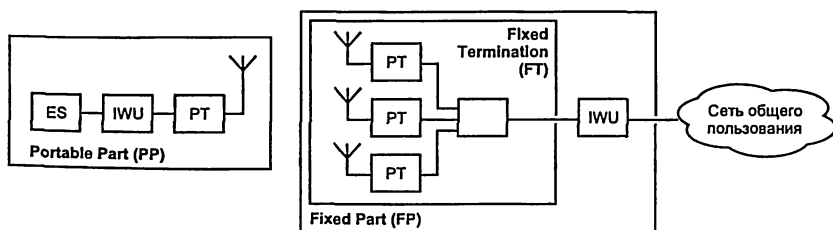


Рис. 1.1. Обобщенная структура DECT системы радиодоступа



действия. Для сопряжения с сетями различного типа, например PSTN, ISDN, GSM, применяются различные IWU.

Как видно из рис. 1.1, в оборудовании системы DECT можно выделить две части: стационарную часть FP (*Fixed Part*) и портативную часть PP (*Portable Part*). По сути дела, эти части являются более общим представлением базовой станции или базового блока и портативного или абонентского устройства. Стандарт DECT непосредственно распространяется только на стационарные РТ и портативные окончания FT, связанные радиointерфейсом.

**Стационарная часть FP** включает в себя стационарное окончание FT и, обычно, интерфейс для сети связи. В простых случаях DECT FP — это только базовая станция. Стационарное окончание FT — определенная стандартом DECT часть базовой станции. Другими словами, в нее не входит сеть и интерфейс сети, которые превращают DECT систему в полностью рабочую сеть связи.

Конкретная физическая реализация стационарной части FP (*Fixed Part*) зависит от реализуемого приложения стандарта. В простейшем случае это может быть автономный базовый блок для домашнего применения, в других, более сложных приложениях — это частная беспроводная АТС (РАВХ) или даже целая микросотовая сеть общего доступа. Стационарная часть может содержать несколько стационарных окончаний FT (*Fixed Termination*), каждое стационарное окончание обеспечивает все функции беспроводной системы. Каждое стационарное окончание может содержать несколько стационарных радиочастей RFP (*Radio Fixed Part*), например, соты или базовые станции, и каждая RFP может содержать несколько окончных радиоточек (*Radio End Point*), то есть приемопередатчиков.

**Портативная часть PP** включает портативное окончание РТ (*Portable Termination*) и портативное приложение РА (*Portable Application*) или конечную систему ES (*End System*). Портативное окончание обеспечивает все функции беспроводного доступа, а портативное приложение обеспечивает все другие необходимые функции на портативной стороне. **Портативное окончание РТ** — это определенный DECT компонент, в который не входит пользовательский интерфейс (*user interface*) — клавиатура, дисплей, микрофон, динамик и зуммер, превращающий DECT РТ в полный рабочий терминал свя-

зи (*communications terminal*). Наиболее распространенная реализация РР — обычная беспроводная телефонная трубка. Примером более сложного РР устройства являются, например, встраиваемые DECT модули, используемые для беспроводного соединения офисных устройств между собой в пикосети [94].

## Основные принципы организации радиосвязи

### Радиоканалы

Существует ряд международных, национальных организаций, занимающихся вопросами выделения РЧ спектра для использования в различных ССПО. Как правило, используемый в ССПО диапазон частот оговаривается в соответствующих нормативных документах или стандартах. Национальные, региональные или местные органы отводят частоты для конкретных операторов.

В выделенном для функционирования систем базовом диапазоне частот (*Bandwidth*) организуется некоторое количество **частотных каналов** (*Channels, CH, RFC*), характеризующихся используемым в канале номиналом несущей частоты (*Carrier*) и номером канала (рис. 1.2). Для передачи информации от одного абонента используется один частотный канал, при этом стандартом на систему связи оговаривается разнос частот между соседними каналами.

Базовый частотный диапазон системы связи является согласованным для страны, континента или всего мира. Например, общеевропейские законы требуют, чтобы каждая страна в Европе сделала частоты базового стандарта DECT доступными для использования всеми приложениями: домашними, офисными и общего пользования. Общий частотный диапазон дает возможность создания объединенного рынка изделий и применения одних и тех же устройств в различных приложениях.

Следует подчеркнуть здесь особенности использования терминов, относящихся к частотным характеристикам ССПО. Термин «полоса частот» (*band*) принято относить ко всему спектру частот, отведенному для функционирования системы связи определенного стандарта. Так, например, полоса частот, используемая системами

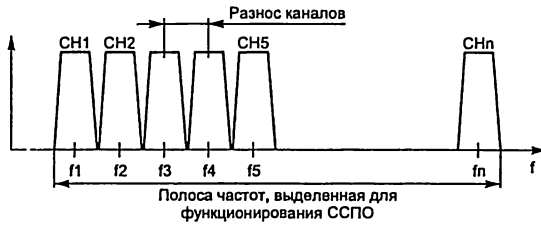


Рис. 1.2. Организация базового частотного диапазона

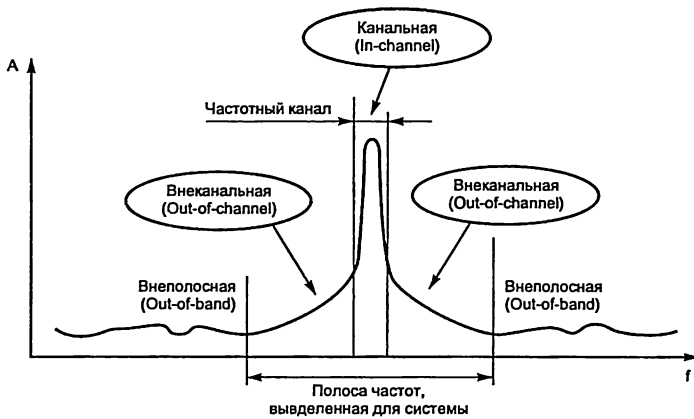


Рис. 1.3. Канальные, внеканальные и внеполосные области частот

стандарта GSM900, занимает 890—915 МГц и 935—960 МГц, в то время как термин «канал» (*channel*) относится к полосе частот, занимаемой в системе только одним пользователем, т. е. 200 кГц в GSM. Таким образом, можно определить три частотных области функционирования ССПО: канальная (*in-channel*), внеканальная (*out-of-channel*) и внеполосная (*out-of-band*).

### Дуплексирование

В системах подвижной связи, как правило, необходимо постоянно осуществлять передачу информации для одного абонента с одновременным приемом информации от этого же или другого абонента. Чтобы поддерживать этот режим между базовой и мобильной стан-

циями организуются два канала. Режим одновременной передачи и приема информации на базовой и мобильной станциях называют дуплексной работой (*Duplex Operation*). Один канал связи используются для передачи информации от базовой станции к мобильной (БС-МС) в канале прямой связи (*forward channel*). Каналы, используемые для передачи информации в обратном направлении (МС-БС), являются обратными каналами (*reverse channel*). Каналы, используемые в системе для передачи информации от базовой станции к мобильной, называют зачастую «каналы связи вниз» (*Downlink*), каналы, используемые для передачи информации в обратном направлении — «каналы связи вверх» (*Uplink*).

В подвижной связи для дуплексирования используют метод дуплексирования (*Duplexing*) по частоте и метод дуплексирования по времени.

#### ***Дуплекс с разделением по частоте FDD***

Дуплекс с разделением по частоте FDD (*Frequency division duplex*) — это метод организации двухсторонней связи, когда связь МС-БС (линия связи вверх) производится на частоте, отличающейся от частоты, используемой для связи БС-МС (линия связи вниз).

**Дуплексная связь с временным разделением FDD:** метод, позволяющий пользователю одновременно посылать и получать информацию, используя различные частоты для передачи и приема.

Рис. 1.4 иллюстрирует процесс организации прямых и обратных каналов в ССПО с FDD.

Прямые и обратные каналы разделены по частоте промежутком, называемым дуплексным сдвигом или дуплексным разносом (*Duplex Distance*). Например, в системе GSM 900 прямые и обратные каналы в каждой соте отделены на 45 МГц.

#### ***Дуплекс с разделением по времени TDD***

В системах, где двусторонняя связь происходит при использовании дуплекса с временным разделением TDD (*Time Division Duplex*), информация от мобильных станций и базовых станций циклически передается сначала в одном направлении, затем — в другом, на одной и той же радиочастоте (рис. 1.5). В системах DECT такой цикл

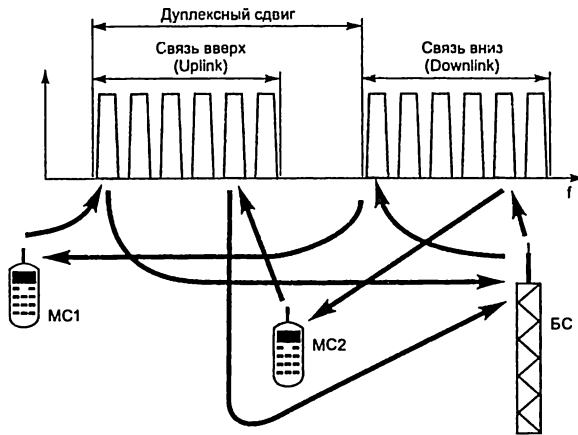


Рис. 1.4.

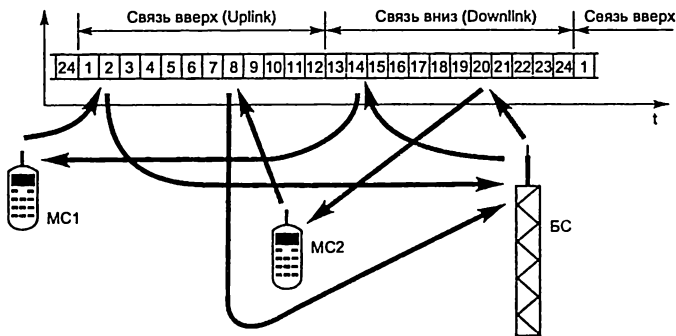


Рис. 1.5. Организация прямых и обратных каналов в ССПО с TDD

повторяется каждые 10 мс. Для этого каждой паре БС-МС периодически выделяется определенные временные интервалы, называемые обычно таймслотами (*Time Slot*) для организации прямых и обратных каналов.

**Дуплексная связь с временным разделением (TDD):** метод, позволяющий пользователю одновременно посылать и получить информацию с использованием одного и того же РЧ канала, путем деления канала на временные интервалы или таймслоты для передачи и таймслоты для приема.

## Методы множественного доступа

Емкость сети зависит от числа доступных частотных каналов. Их в силу объективных причин всегда не хватает. Поскольку радиоспектр имеет ограниченные ресурсы, необходимо оптимально распределить его между всеми возможными пользователями. Всякий раз, когда ряд пользователей должен совместно использовать ограниченный диапазон частот, необходимо установить правила для этого, т. е. оговорить методы множественного (многостанционного) доступа (*Multiple Access Methods*) к каналам передачи информации.

РЧ спектр — исходный ресурс, который должен быть разделен между пользователями, с использованием определенных процедур, иногда называемых мультиплексированием (*Multiplexing*). При этом для каждого из пользователей могут быть установлены определенные ограничения (правила) использования выделенного РЧ спектра и во времени. Поэтому можно сказать, что мультиплексирование используется для упорядочения (разделения) различных пользователей частотно-временного ресурса. Для совместного использования канала (*Sharing the channel*) применяется мультиплексирование по частоте, времени, коду, и пространству. В большинстве современных систем связи используется комбинация этих методов мультиплексирования.

### ***FDMA — множественный доступ с частотным разделением***

Системы с множественным доступом по частоте (*Frequency Division Multiple-Access, FDMA*) или мультиплексированием по частоте получили в русском языке название системы множественного доступа с частотным разделением МДЧР. В них выделенный общий диапазон частот разделяется на отдельные стационарные частотные каналы. Каждый передатчик или приемник использует отдельную частоту (рис. 1.6.).

Метод позволяет нескольким пользователям совместно эксплуатировать определенный выделенный радиоспектр. Каждому активному пользователю выделяется определенный РЧ канал (*RF channel*) или несущая частота (*Carrier*), который он может использовать постоянно. Номинал несущей частоты каждого канала имеет сдвиг по частоте (*channel offset*) от соседних каналов (*adjacent channel*) на ве-

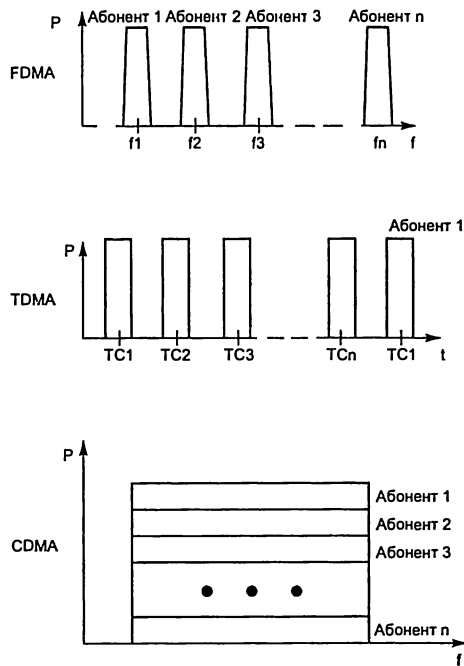


Рис. 1.6. Различные методы множественного доступа

личину, равную разнесу каналов (*channel spacing*). Это позволяет выделить требуемую ширину полосы частот на канал (*bandwidth per channel*).

Стандарт FDMA широко используется как в традиционных аналоговых системах сотовой связи, так и в современных цифровых системах, как правило, в сочетании с другими методами. Таким образом, не временной фактор, а только лишь различия в частоте используются для разделения (дифференциации) абонентов. Подобный подход имеет заметное преимущество, так как вся информация передается в реальном времени, и абонент получает возможность использовать всю полосу выделенного ему частотного сегмента. Ширина выделяемой абоненту полосы частот зависит от используемой системы связи.

Эта методика использовалась традиционно с 1900 года и до сих пор находит применение. При этом в системе используется узкополосный передатчик и приемник, который имеет узкополосный

фильтр, для выделения желаемого сигнала из общего спектра принимаемых сигналов и подавления нежелательных сигналов, например излучаемых соседними радиосредствами.

### ***TDMA — множественный доступ с временным разделением***

Множественный доступ с временным разделением МДВР (*Time Division Multiple Access, TDMA*) или метод мультиплексирования с разделением по времени использует разделение пользователей по времени так, чтобы их приемопередатчики могли совместно использовать одну несущую частоту. Такой принцип организации связи применяется, например, в простых дуплексных радиостанциях, где кнопка нажимается, когда абонент говорит и отпускается, когда он слушает своего собеседника.

Стандарт TDMA активно используется в современных цифровых системах подвижной связи. В отличие от систем частотного разделения, все абоненты системы TDMA работают в одном и том же диапазоне частот, но при этом каждый имеет временные ограничения по доступу в систему. Каждому абоненту выделяется временной промежуток (таймслот, ТС), в течение которого ему разрешается передача информации. После того, как один абонент завершает передачу, разрешение дается другому, затем третьему и т. д. Если обслужены все абоненты, процесс начинается сначала. С точки зрения абонента его активность носит пульсирующий характер. Чем больше абонентов, тем реже каждому из них предоставляется возможность передать свои данные, тем, соответственно, меньше данных он сможет передать вообще. Если ограничить потребности (возможности) абонента известной величиной, можно оценить количество пользователей, которых реально сможет обслужить TDMA система.

В системах TDMA передаваемая информация, например речевой сигнал, сначала оцифровывается, а затем делится на множество информационных пакетов. При этом информация от нескольких цифровых каналов связи должна быть сжата по времени (*time compressed*) и затем передается с большей скоростью последовательно во времени (рис. 1.7). В приемнике пакеты декомпрессируются и исходная информация восстанавливается. Временное разделение в ССПО, как правило, используется совместно с частотным разделением. В TDMA системе DECT организуется 24 слота в пределах 10 мс кадра



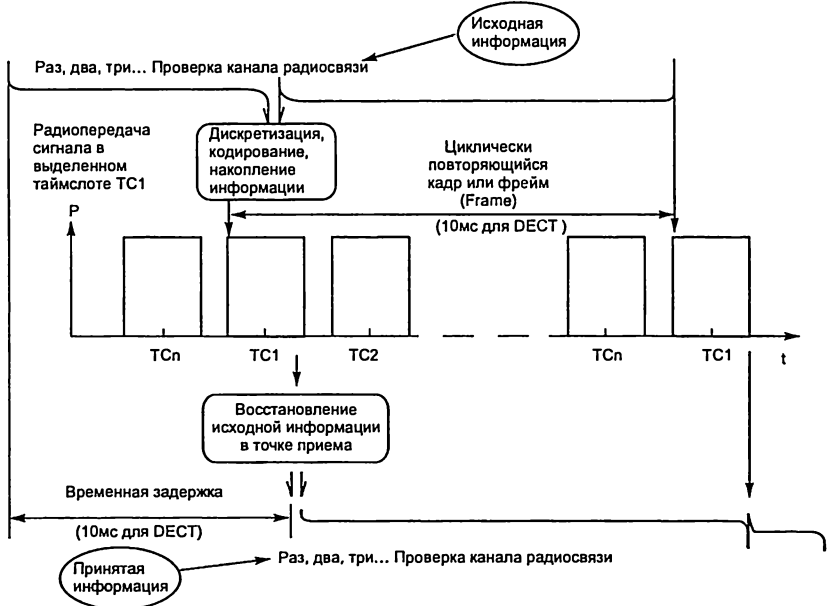


Рис. 1.7. Процесс обработки информации в TDMA системе

на каждой несущей радиочастоте, создавая 12 двусторонних каналов на несущую радиочастоту. В системе GSM восемь пользователей совместно используют частотный канал.

### **CDMA — множественный доступ с кодовым разделением**

Множественный доступ с кодовым разделением МДКР или CDMA (*Code Division Multiple Access*) метод доступа, где множество пользователей могут работать одновременно на одной частоте или в одном частотном канале. Каналы трафика при таком способе разделения среды создаются присвоением каждому пользователю специфического кода, с помощью которого сигнал расширяется по всей полосе выделенного частотного канала. В данном случае не существует временного разделения, и все абоненты постоянно используют всю ширину канала (рис. 1.6), совместно используя один и тот же частотный ресурс.

В традиционных системах связи сильный сигнал (возможно прерывистый) передается в узком диапазоне. В системах CDMA переда-

ются слабые, но очень широкополосные сигналы. При этом используются методы формирования сигнала с расширением спектра (*spread-spectrum*), позволяющие многим пользователям совместно использовать один общий диапазон частот, назначая каждому активному пользователю уникальный код. С помощью этого кода исходный информационный сигнал расширяется (размазывается) по всему используемому диапазону частот. На приемном конце используется тот же самый код, чтобы восстановить сигнал, отделив его от шума и помех. Передаваемые сигналы абонентов накладываются друг на друга, но поскольку их коды отличаются, они могут быть легко разделены на приеме. В системе CDMA может быть организован очень устойчивый и безопасный канал связи даже при использовании чрезвычайно маломощного сигнала. Теоретически, уровень сигнала может быть более слабым, чем уровень шума.

Часто используется хорошая аналогия, помогающая понять суть этих трех методов. Представьте себе попытку организовать в помещении ряд диалогов одновременно. Участвующие в них пары хотят общаться только друг с другом и не интересуются другими. Метод МДЧР позволяет организовать каждый из диалогов на специально выделенной и отгороженной территории помещения. При использовании МДВР каждый диалог в помещении происходит по очереди.

При использовании МДКР диалоги в помещении могут происходить одновременно, но каждый участник сосредотачивается только на одном из них. Качество восприятия информации значительно улучшается, если заранее договориться, чтобы каждый диалог при этом происходил на различном, взаимно непохожем на другие, языке. Если каждая пара знает только один язык и использует его, а все языки различны, то люди, говорящие на русском, практически не будут слышать тех, кто говорит на немецком, говорящие на испанском не получают информацию на японском, и т. д. Аналогия заключается в том, что воздух в комнате является широкополосным каналом, а используемые языки представляются в виде кодов.

Количество абонентов может увеличиваться до тех пор, пока общий фоновый шум (помехи от других абонентов) не начнет ограничивать качество восприятия информации. Помехи, создаваемые другими абонентами и другими базовыми станциями, представляют собой фактор, в конечном итоге определяющий верхний порог

пропускной способности сети стандарта CDMA. В стандарте CDMA существует ряд способов снижения уровня помех для того, чтобы достичь максимума емкости сети. Регулируя мощность сигналов всех абонентов, которая не должна быть выше необходимой при поддержании высокого качества речи, можно обеспечить связью большое количество абонентов. Максимальное количество пользователей или каналов связи зависит от интенсивности использования каждого канала, и поэтому не является определенным. В соответствии с принципом «мягкой перегрузки» (*soft overload*) дополнительная пара абонентов может получить доступ в систему за счет несколько возрастающего уровня помех, создаваемого для других абонентов.

### ***Пространственное разделение***

Другой вид мультиплексирования — пространственный (*geographical*) или сотовый (*cellular*). Если две приемопередатчика находятся достаточно далеко друг от друга, они могут работать одновременно на одной частоте не создавая помех друг другу.

### ***Комбинированное мультиплексирование***

В большинстве современных систем связи различные формы мультиплексирования объединены, т. е. используются методы комбинированного мультиплексирования (*Combining multiplexing modes*). Например, в системах DECT используются методы TDMA (МДЧР), TDD и пространственное мультиплексирование.

## **Радиоинтерфейс DECT**

Радиоинтерфейс DECT основывается на способе радиодоступа с использованием нескольких несущих, принципа множественного доступа с разделением по времени, дуплекса с разделением по времени MC/TDMA/TDD.

Для организации связи между портативной и стационарными частями в выделенном для функционирования DECT систем базовом диапазоне частот 1880—1900 МГц организуется **10 частотных каналов (MC, Multi Carrier)**. Базовый частотный диапазон DECT является согласованным для всей Европы, и общеевропейские законы

требуют, чтобы каждая страна в Европе сделала эти частоты доступными для использования DECT системами. Этот частотный диапазон совместно используют все DECT приложения: домашние, офисные и общего пользования. Общий частотный диапазон дает возможность создания объединенного рынка DECT изделий и применения одних и тех же устройств в различных приложениях, например, в офисе и дома.

В базовом диапазоне используется 10 частотных каналов, отстоящих друг от друга на 1,728 МГц, с несущими, значения которых приведены на рис. 1.8.

Диапазон используемых частот в ряде стран отличается от базового:

- Китай: 1902,528—1918,080 МГц;
- государства Латинской Америки: 1912,896—1928,448 МГц.

Информация передается на каждой несущей частоте DECT со скоростью 1152 кбит/с. На каждой несущей частоте организуются регулярные временные циклы по 24 таймслота, повторяющиеся каждые 10 мс и называемые кадром (*Frame*) или фреймом (рис. 1.9). Длительность полного цикла составляет 11520 бит. Кадр состоит из 24 временных слотов, каждый из которых индивидуально доступен устройствам DECT, т. е. реализуется принцип множественного доступа с разделением по времени (*TDMA, Time Division Multiple Access*). Временные слоты используются либо для передачи, либо для приема. В базовом DECT временной кадр в 10 мс разделяется на две половины по 12 временных слотов. Обычно, в течение первых 12



Рис. 1.8. Организация базового частотного диапазона DECT

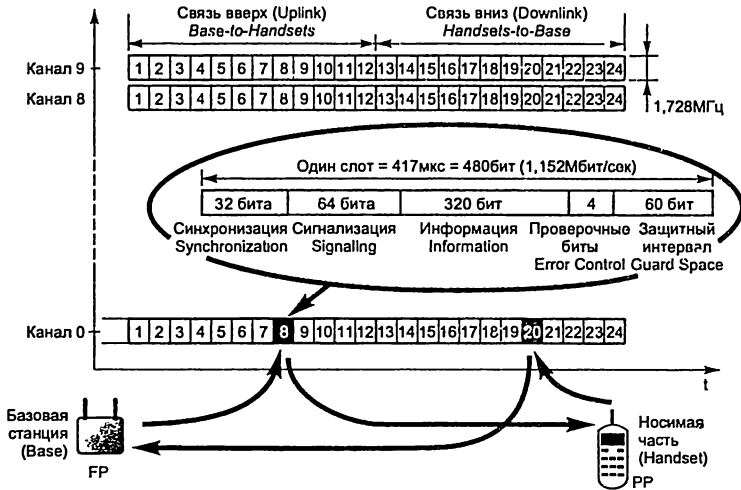


Рис. 1.9. Организация радиointерфейса в системе DECT

таймслотов кадра базовая станция передает информацию для портативного устройства, оставшиеся 12 таймслотов портативное устройство использует для передачи информации базовой станции. Каждый слот передачи имеет в кадре соответствующий слот приема, отстоящий на 12 слотов, или на 5 мс. Такая схема организации связи, называемая дуплексированием с разделением по времени (*TDD, Time Division Duplex*), позволяет абонентскому устройству и базовой станции общаться друг с другом при использовании только одной несущей частоты. Таким образом, при использовании базового DECT принципа MC/TDMA/TDD каждому устройству DECT в любой момент доступен общий набор из 12 дуплексных частотно-временных каналов.

Структура DECT TDMA может обеспечить с помощью одного приемопередатчика до 12 одновременных базовых полнодуплексных речевых соединений. Иными словами, потенциально с помощью одной базовой части, использующей один приемопередатчик, можно полноценно обслужить 12 абонентов, передающих обычную речевую информацию. Благодаря усовершенствованному радиопrotocolу, система DECT может предоставлять отдельному пользователю канал связи с различной пропускной способностью, объединяя несколько временных слотов на одной несущей. При передаче данных

достигаются скорости передачи до 552 кбит/с. В настоящее время диапазон скоростей передачи предполагается расширить до 2 Мбит/с.

Чтобы передать речевой сигнал с использованием схемы организации дуплексной связи с разделением по времени, речевой сигнал должен быть **буферизирован**. Непрерывный аналоговый речевой сигнал оцифровывается, кодируется со скоростью 32 кбит/с и считывается в буфер устройства. За период одного кадра в 10 мс, накапливается 320 битов речевых данных. Когда подходит время передачи, данные передаются с намного более высокой скоростью в 1152 кбит/с. Все содержащиеся в буфере данные (*Data Burst*), для записи которых требовалось 10 мс, передаются в одном слоте за время меньше, чем 416,7 мс. Сжатие информации во времени с коэффициентом большим, чем 24, позволяет объединять (мультиплексировать) на одной несущей частоте 12 циклов обмена информацией с различными абонентами. Следует отметить, что процесс буферизации приводит к появлению временной задержки в передаче речи. Эта задержка может проявиться в виде акустического эха. Поэтому в системах DECT применяют меры для подавления эха.

Каждый сегмент данных передается внутри пакета (*Packet*) данных. Таймслоты являются временными интервалами, внутри которых пакеты могут быть фактически переданы. Для организации каналов с различной пропускной способностью в системе DECT могут быть использованы пакеты различной длины в слотах различного типа.

Передача пакета устройством DECT может происходить с пиковой **выходной РЧ мощностью** передатчика до 250 мВт. Если передача происходит в течение одного таймслота из 24, средняя переданная РЧ мощность составляет приблизительно 10 мВт. Передающие устройства DECT имеют два разрешенных уровня выходной мощности: стандартный режим с уровнем 250 мВт и маломощный режим, в котором пиковая мощность составляет 2,5 мВт. Основной стандарт позволяет изготовителям устройств DECT для каждого конкретного случая выбрать уровни РЧ мощности с учетом этих пиковых значений. Однако, стандарт взаимодействия для систем передачи речи требует, чтобы стандартная передаваемая мощность устройств составляла, по крайней мере, 80 мВт.

Выходная мощность передатчика, наряду с чувствительностью приемного устройства, в значительной мере определяют размер зоны обслуживания или сот, которые могут быть использованы в системе. Значение требуемой чувствительности приемного устройства, приведенное в основном стандарте DECT, составляет  $-83$  дБм. DECT стандарт профиля GAP устанавливает это значение равным  $-86$  дБм (рис. 1.8).

## Структуры систем

Сота (*cell*), называемая иногда ячейкой, — основной географический элемент сотовой системы связи. Наиболее удобная форма представления соты — ее модель — правильный шестиугольник, в центре которого находится базовая станция БС. Из-за ограничений, накладываемых естественной топографией поверхности и искусственными структурами, истинная форма сот не является идеальным шестиугольником. Реальный размер и форма каждой соты изменяется в зависимости от ландшафта местности, конфигурации помещений, в которых она развертывается.

Но, все-таки наиболее удобная и употребляемая форма модели зоны обслуживания одной базовой станции — правильный шестиугольник — сота. Отсюда и название таких систем — сотовые системы связи. Зона обслуживания одной БС сравнительно невелика, абонент же может перемещаться по значительной территории, например, многоэтажного здания, большого города или даже административной области. Для того, чтобы в любой точке этой территории он мог уверенно получить требуемую услугу связи, например, поговорить по мобильному телефону, необходимо установить на ней достаточное количество БС так, чтобы обеспечить равномерное, без разрывов покрытие всей общей зоны обслуживания.

Размер одной соты зависит от многих факторов: диапазона рабочих частот системы, выходной мощности передатчика БС и АУ, типа антенны БС и высоты ее расположения, чувствительности приемников, используемых в системе и т. д. В современных системах связи организуются соты различных размеров:

- гиперсоты спутниковых систем связи, размер которых составляет тысячи километров;

- макросоты (*macro cell*), иногда называемые нормальными (*normal cell*), с радиусом в несколько десятков километров;
- микросоты (*micro cell*) радиуса 100—500 метров, организуемые, как правило, в местах с интенсивным телефонным обменом — торговых центрах, центральных пешеходных улиц, вестибюлях гостиниц и т. д.;
- пикосоты (*pico cell*) размером 10—100 метров систем связи, развертываемых в помещениях.

Параметры приемопередатчиков, используемых в системах DECT, позволяют организовывать зоны обслуживания или соты, размеры которых составляют 10—30 метров в зданиях и достигают 300 метров на открытом пространстве. Данные значения позволяют отнести эти системы к пикосотовым, хотя наиболее часто системы DECT называют, все-таки, микросотовыми. При использовании направленных антенн, т. е. организации вытянутой соты, дальность связи между двумя оконечными точками может быть увеличена до нескольких километров.

Простейшие домашние системы, использующие одну стационарную часть, называемую в этом случае обычно базовый блок, являются односотовыми. В более сложных системах DECT используется многосотовая, называемая обычно просто сотовой, структура. Вообще говоря, абонент может находиться в зоне одновременного действия нескольких систем связи, например DECT и GSM, т. е. внутри сот различного размера. При этом он сам выбирает предпочитаемую систему, заранее приобретая необходимые для работы в ней абонентские устройства. В настоящее время широкое распространение получают многостандартные АУ, позволяющие пользователю выбирать ту систему связи, в которой предоставляются более качественные или более дешевые услуги. При выборе системы происходит, как правило, переключение обслуживания со сменой соты.

В одной соте системы связи может быть обслужено одновременно только определенное количество абонентов. Существенно увеличить емкость соты, то есть возможность обслужить одновременно большее количество абонентов можно организовав в местах нахождения наибольшего количества абонентов дополнительные маленькие микросоты. Для этого там устанавливаются небольшие, дешевые дополнительные базовые станции. Если система связи обнаружива-



ет, что абонент оказался в зоне обслуживания микросоты, происходит его переключение на обслуживание в маленькой микросоте. Переключение происходит очень быстро и незаметно для абонента, при этом в большой макросоте освобождается место для обслуживания абонентов, находящихся на значительном расстоянии от БС. Структура такой сети, в которой используются соты различных размеров, называется иерархической.

Итак, идеальная модель соты выглядит как правильный шестиугольник. Однако повторим, что такая модель покрытия, имеющая форму пчелиных сот, является идеальной. Вспомним про овраги. И горы. И высокие здания. В зданиях есть железобетонные перекрытия, лифтовые шахты, а в них движущиеся лифты. Все эти объекты, создающие реальный рельеф местности, сильно искажают форму сот, заслоняя отдельные участки поверхности, уменьшая уровень принимаемого сигнала. Да и расстановку БС приходится производить с учетом реального рельефа местности так, чтобы исключить наличие зон, где будет отсутствовать уверенный прием сигнала от какой-либо БС. Особенно много таких объектов, усложняющих картину реального покрытия, следует учитывать при развертывании систем в помещениях.

Реально нахождение мест оптимальной установки БС производят с помощью компьютеров, в которые вносится топология местности, конфигурация помещений. Получившиеся соты выглядят как лоскутное одеяло. Реальную же структуру покрытия снимают, перемещаясь со специальным измерительным приемником, показывающим, с какой БС связывается абонентское устройство в каждой точке обслуживаемой территории. Эти замеры показывают, что из-за неравномерного рельефа местности на покрытии появляется множество небольших участков, где связь будет поддерживаться не с ближайшей БС, а более отдаленными другими БС, сигнал от которых является более сильным. На деле картина покрытия выглядит еще живописнее — одеяло заметно обветшало, покрывшись множеством заплаток.

Проектировщик сети решает противоречивую задачу: с одной необходимо разместить БС как можно дальше друг от друга, чтобы уменьшить их общее количество, необходимое для покрытия требуемой территории. Уменьшение количества используемых БС приводит к существенному удешевлению проектируемой системы сотовой

связи. С другой стороны, если расстояние между станциями будет слишком велико, то уровень сигнала от БС на границах сот будет слишком мал для уверенного установления и поддержания связи. Кроме того, в этом случае из-за неровностей рельефа могут образовываться зоны неуверенного приема или полное его отсутствие. Поэтому БС нельзя размещать слишком редко.

Чем дальше находится абонент от БС, тем меньше уровень принимаемого сигнала. На границе зоны обслуживания сигнал уменьшается до минимально приемлемого уровня, при котором еще возможно уверенное обслуживание абонента. Пересечение границы соты означает, что произойдет передача обслуживания абонента от одной базовой станции к другой.

Развертывание оборудования DECT является достаточно простым, так как при этом необходимо учитывать только требования к покрытию и трафику. Для оценки напряженности абонентского трафика используются комплексные показатели, учитывающие ширину используемого частотного диапазона и площадь покрытия. **Емкость** систем DECT выше, чем у других цифровых систем мобильной связи. При высокой плотности установки базовых станций DECT можно довести значения емкости трафика приблизительно до 10000 Эрланг/кв.км/этаж или 500 Эрланг/МГц/кв.км [2—4]. Для систем связи на основе стандартов GSM900 и DCS1800 этот показатель составляет соответственно 10 и 100 Эрланг/МГц/кв.км. Механизм динамического выбора и выделения канала DECT исключает необходимость частотного планирования системы.

## Непрерывная передача сигнала

Базовая станция DECT постоянно передает сигнал, по крайней мере, по одному каналу в вещательном режиме (*Continuous Broadcast Service*), т. е. без адресации информации конкретному абоненту, выступая таким образом в качестве маяка для портативных частей.

Последовательно передаваемые 16 кадров группируются вместе, образуя мультикадр (*Multiframe*) длительностью 160 мс. Мультикадр является временным периодом, во время которого БС передает полный набор системной информации. Таким образом, это тот пери-

од, в течение которого портативное устройство должно прослушивать маячную (сигнальную) передачу базовой станции (*Base Station Beacon*), чтобы получить полное представление о системе, к которой она подключена.

Маячная передача базовой станции содержит служебную информацию об идентификации базовой станции, возможностях системы, статусе стационарной радиочасти и пейджинговую информацию для установления входящей связи. Портативные части анализируют эту передаваемую информацию и определяют, есть ли у них права доступа к системе, есть ли, в случае необходимости, у базовой станции свободная емкость для обслуживания портативной части, и соответствуют ли возможности системы услугам, которые необходимы портативной части.

## Динамический выбор и выделение канала

Стандартом DECT предусмотрен механизм динамического выбора и выделения канала (*Dynamic Channel Selection and Allocation*), определяющий многие уникальные свойства и характеристики систем DECT.

Все оборудование DECT регулярно производит оценку своей локальной электромагнитной обстановки, для чего проводит сканиро-

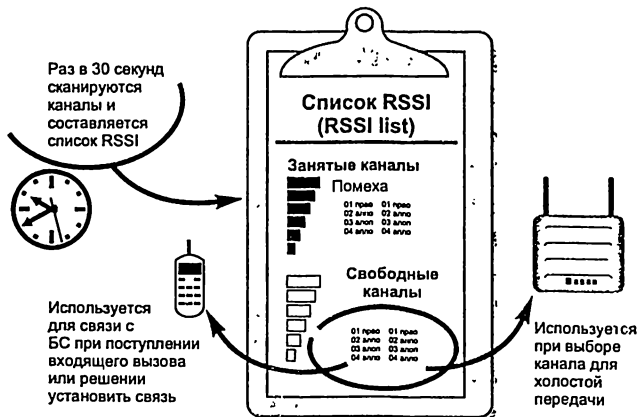


Рис. 1.10. Динамический выбор канала

вание. Сканирование означает получение и измерение силы принимаемого РЧ сигнала по всем частотно-временным позициям с оценкой его уровня RSSI (*Received Signal Strength Indication* — Индикация уровня принимаемого сигнала). Разрешающая способность канала измерения RSSI в приемном устройстве должна быть лучше или равна 6 дБ [12]. Сканирование происходит, как незаметный для пользователя фоновый процесс, и его результатом является список свободных и занятых каналов (рис.1.10), называемый списком RSSI или списком выбора каналов (*channel selection list*). Список составляется для каждой частотно-временной позиции несущая-слот и используется в процессе выбора рабочего канала. С помощью информации RSSI портативная или стационарная часть DECT могут выбрать для организации нового канала связи оптимальную частотно-временную позицию с наименьшими помехами.

В списке RSSI низкие значения уровня принимаемого сигнала соответствуют свободным каналам без помех, а высокие значения означают занятые каналы или каналы с помехами. Частотно-временные каналы, в которых измеренный уровень RSSI меньше заданной нижней границы, равной  $-93$  дБм, рассматриваются как свободные каналы (*quiet channel*), и могут быть немедленно выбраны для организации канала связи.

Верхнее ограничение RSSI определяет уровень сигнала, начиная с которого канал рассматривается как занятый. Каналы с RSSI большими, чем это верхнее ограничение, уже могут не упорядочиваться с разрешением 6 дБ, но эти каналы не должны выбраться для организации канала обмена информацией. Верхнее ограничение RSSI может быть переменным, значение которого зависит от окружающей помеховой обстановки. Основной список каналов описывает полное помеховое окружение оборудования DECT для заданного верхнего уровня ограничения и не зависит от любых ограничений системы.

Каналы с самыми высокими значениями RSSI постоянно анализируются в портативной части DECT для того, чтобы проверить, не происходит ли на них передача информации базовыми станциями, к которым у портативной части есть права доступа. Обнаружив такую передачу, портативная часть синхронизируется с базовой станцией, имеющей самый мощный сигнал.

Каналы с самыми низкими значениями RSSI, т. е. наиболее чистые от помех, портативная часть при необходимости использует для установления связи с базовой станцией. Это происходит в тех случаях, если пользователь портативной части сам решает сделать вызов, или поступило сообщение о входящем вызове для портативной части. В базовой станции DECT каналы с низкими значениями RSSI используются при выборе канала для маячной передачи (*beacon transmission*) или холостой передачи (*dummy bearer*).

Таким образом, действие механизма динамического выбора и выделения канала заключается в том, что установление связи в системе DECT всегда гарантированно происходит на доступных каналах с самым лучшим качеством.

## Установление связи в системе DECT

Инициатива установления радиосвязи в базовых приложениях DECT всегда принадлежит портативной части. Используя механизм динамического выбора канала, портативная часть выбирает наилучший из доступных каналов для установления связи и связывается по этому каналу со стационарной частью. Для того, чтобы обнаружить попытки установления связи со стороны портативной части, стационарная часть должна осуществлять прием сигнала с использованием какой-либо частотно-временной позиции в тот момент, когда портативная часть передает на ней свой запрос на доступ. Поэтому стационарная часть постоянно последовательно сканирует в определенном порядке свои незанятые каналы приема, пытаясь обнаружить попытки портативных частей установить связь. Используя служебную информацию, постоянно передаваемую стационарной частью, портативные части синхронизируются с этой последовательностью сканирования (*Scan Sequence*). На основе этой информации портативные части могут определять точный момент, когда на выбранном канале возможен успешный доступ к стационарной части.

При поступлении входящего вызова для портативной части, сеть извещает об этом портативную часть в процессе постоянной передачи служебной информации, отправив пейджинговое сообщение, в котором содержатся данные, идентифицирующие вызываемую пор-

тативную часть. Портативная часть, получив пейджинговое сообщение, содержащее идентифицирующую ее информацию, установит связь со стационарной частью. При этом используется та же процедура, которая применяется при установлении связи, инициируемой портативной частью.

## Присоединение портативного устройства к системе

Присоединение (подключение) портативных устройств к системе (*Attach*) происходит в двух случаях. Первый — это начальный контакт между стационарной системой и портативным устройством, которое только что включено или только что появилось в области обслуживания системы, где оно допущено к получению услуг.

При включении электропитания портативная часть ищет лучшую по качеству передачу базовой станции из обнаруженных. Портативное устройство распознает радиопередачу ARI стационарной части, сравнивая его определенную часть с ключом прав доступа портативного устройства PARK (*Portable Access Rights Key*).

Непосредственная цель идентификации хорошей базовой станции, которая будет предоставлять обслуживание портативной части, заключается в том, чтобы присоединиться к стационарной части и, тем самым сообщить ей, что в определенном месте зоны обслуживания системы появилась портативная часть PP и она готова получать входящие вызовы.

Вторая ситуация, использующая функцию подключения — это необходимость сообщения стационарной системе того, что портативное устройство переместилось в новую область расположения (*location area*) и ожидает получения входящих вызовов там, вместо старого расположения. В обоих случаях используется одна и та же процедура присоединения, отличающаяся тем, что в сообщениях, которые обмениваются стационарные и портативные части, содержится различная информация.

Портативная часть может, используя процедуру отсоединения (*Detach*), указать системе, что не нуждается более в получении любых входящих вызовов. Портативное устройство при этом посылает соответствующее сообщение стационарной части. Эта процедура мо-

жет происходить в том случае, когда пользователь программно выключает портативное устройство до заключительного его отключения непосредственно от источника питания. Это процедура избавляет сеть от необходимости осуществления попыток передачи входящих вызовов для недоступного в данное время портативного устройства.

## Хендовер, роуминг

Итак, идеальная модель соты выглядит как правильный шестиугольник. Практически пересечение границы соты означает, что произойдет переключение обслуживания абонента с базовой станции БС1 на станцию БС2.

Препятствием при реализации концепции сотовой сети является проблема, возникающая тогда, когда мобильный абонент во время связи перемещается из одной соты в другую. Абонентское устройство, находящееся у пользователя, постоянно прослушивает эфир, определяя силу сигналов, поступающих от ближайших БС. Связь же устанавливается с БС, сигнал которой является в данный момент наиболее сильным, т. е., как правило, с ближайшей. Если абонент перемещается от одной БС к другой, например от БС1 к БС2, то уровень сигнала БС1 будет уменьшаться, а БС2 — увеличиваться (рис. 1.11). Так как соседние соты используют различные радиокана-

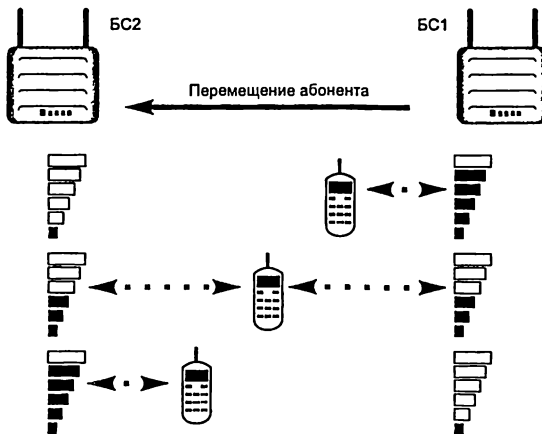


Рис. 1.11. Межсотовый хендовер в системе связи

лы, связь должен быть прервана или передана из одного радиоканала в другой, когда пользователь пересекает границы соседних сот.

Так как прерывание связи недопустимо, был разработан процесс хендовера. Явление переключения обслуживания абонента связи с одной БС на другую называется хендовером (*hand over*).

**Хендовер (Handover, Handoff)**, или эстафетная передача обслуживания — это процесс, при котором происходит переключение абонентского устройства (вызова, связи) из одного физического канала в другой.

Этот англоязычный термин уже прочно укрепился в русском языке, практически вытеснив ранее применявшееся понятие «эстафетная передача обслуживания».

Хендовер происходит автоматически, без прерывания связи и оповещения абонента, настолько быстро, что пользователи не замечают переключения. Связь продолжается столько времени, сколько пользователь продолжает разговор, и пользователь вообще не обращает внимание на хендовер. Он выполняется настолько быстро, что пользователи не замечают этого. Возможны два вида эстафетной передачи: **внутрисотовый хендовер (*intra-cell handover*)** и **хендовер между сотами (*inter-cell handover*)**.

Портативные части могут освободить канал, содержащий помехи, используя механизм динамического выбора и выделения канала и возможности DECT, обеспечивающие хендовер без прерывания связи. При этом на вновь выбранном канале устанавливается второе соединение либо с той же базовой станцией (внутрисотовый хендовер, показанный на рис. 1.12), либо с другой базовой станцией (межсотовый хендовер). Некоторое время эти два соединения поддерживаются параллельно, с их использованием передается идентичная информация. Система анализирует качество связи по обоим соединениям, а через некоторое время происходит определение того, у какого соединения качество лучше, и другой канал освобождается. Такой хендовер, при котором некоторое время связь поддерживается по двум каналам одновременно, называют мягким.

Несмотря на то, что хендовер всегда инициируется портативной частью DECT, возможны ситуации, в которых требуемое качество связи не обеспечивается по линии связи вверх (т. е. портативная



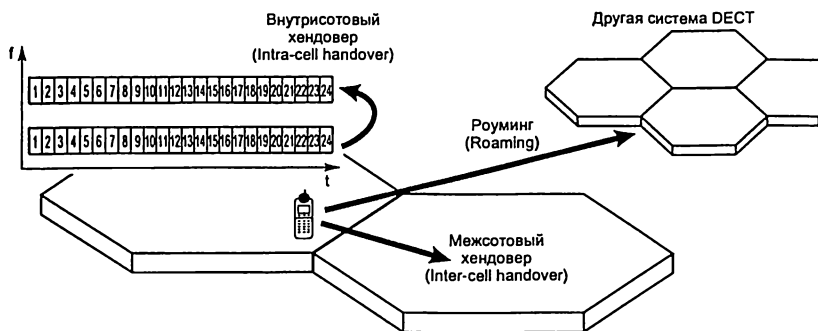


Рис. 1.12. Виды хендовера и роуминга в DECT

часть — стационарная часть). Предусмотренный для этого случая в DECT механизм оповещения позволяет стационарной части передать сообщение о недостаточно высоком качестве соединения портативной части, которая затем может запустить механизм хендовера для ухода от этого некачественного соединения.

## Подвижность абонента в системе

В том случае, если пользователь находится на территории, обслуживаемой многосотовой системой DECT, поддерживающей функции мобильности, он может получать и производить вызовы в любом месте этой области обслуживания. И, хотя подвижность пользователя в пределах сети не прописана в стандарте DECT, при его перемещении от одной базовой станции к другой будет происходить незаметная для пользователя передача обслуживания за счет механизма межсотового хендовера. Таким образом, с точки зрения пользователя, он получает в системе DECT полноценное обслуживание, аналогичное обслуживанию в сотовых системах стандартов GSM, DAMPS, NMT. Однако специалисты, говоря об отличиях традиционных сотовых систем от систем на основе стандарта DECT, прежде всего отмечают небольшую возможную скорость перемещения пользователя DECT. Реально пользователи могут передвигаться во время разговора по телефону по территории обслуживания со скоростью не более 30 км/час. Однако, несмотря на это ограничение, система DECT предоставляет значительную гибкость в обслуживании пользователями, передвигающимися по дому, офису или улице.

## Разнесенный прием

В реальных условиях радиосигнал достигает антенны абонентского устройства претерпевая на своем пути отражения от различных отражающих препятствий — стен, перекрытий, лифтовых шахт и т. д. Это приводит при распространении радиоволн к возникновению эффекта многолучевости (*multi-path*), когда принимаемый сигнал равен сумме ряда переданных сигналов, отличающихся по амплитуде и фазе и в силу этого подвержен замираниям (*fading*). Чтобы противодействовать таким замираниям, которые происходят довольно быстро, не может быть использован достаточно медленный механизм хендовера.

Для борьбы с замираниями используют пространственно разнесенные антенны (*antenna diversity*), при использовании образуются различные пути приема, на которых замирания принимаемого сигнала происходят независимо друг от друга, как это показано на рис. 1.13. Для этой цели на базовых станциях DECT, как правило, используются разнесенные антенны. Так как в радиоканале между стационарной частью и портативной частью используется дуплекс с временным разделением TDD, он является пространственно симметричным. Поэтому выбор лучшей антенны стационарной части улучшает не только качество линии связи вниз, но и качество линии вверх.

В стандарте DECT прописан алгоритм управления выбором антенны на стационарной части со стороны портативной части [19].

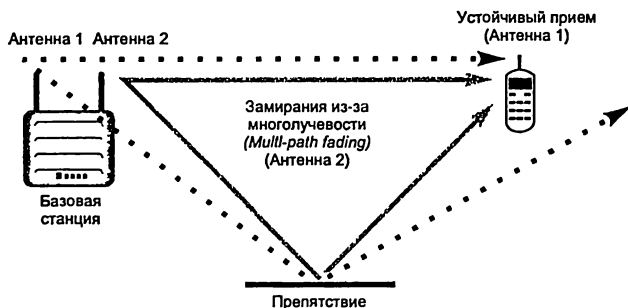


Рис. 1.13. Использование разнесенных антенн для борьбы с замираниями

## Защищенность и безопасность в системе

При использовании в системе связи радиоканала, естественно, имеется значительный риск в отношении защищенности передаваемой информации и возможности несанкционированного доступа в систему. Для устранения этих недостатков мобильных систем в DECT-системах используются мощные протоколы прописки и аутентификации, а для защиты информации предусмотрен механизм ее усовершенствованного кодирования.

Для корректного и безопасного функционирования систем DECT в них предусмотрен комплекс мероприятий по идентификации портативных и стационарных устройств, осуществляемых изготовителями, поставщиками или пользователями систем. Идентификаторы системы всегда передаются стационарной частью по радио во время сигнальной передачи (*beacon*). Идентификаторы полных систем называются идентификаторами прав доступа ARI (*access rights identities*), потому что они используются портативными устройствами для определения того, имеют ли они права доступа к системе. В простых случаях, например в квартирных телефонах и малых офисных системах, эти идентификаторы постоянны и устанавливаются изготовителем. В более сложных, больших системах, например больших частных АТС (РАВХ), или системах общего доступа, идентификаторы могут загружаться в систему поставщиком или оператором.

**Прописка** — это процесс, благодаря которому система допускает конкретную портативную часть к обслуживанию. Оператор сети или сервис-провайдер обеспечивает пользователя портативной части секретным ключом прописки (PIN-кодом), который должен быть введен как в стационарную часть, так и в портативную часть до начала процедуры. До того, как трубка инициирует процедуру фактической прописки, она должна также знать идентификацию стационарной части, в которой она должна прописаться (из соображений защищенности область прописки может быть ограничена даже одной выделенной (маломощной) базовой станцией системы. Время проведения процедуры обычно ограничено, и ключ прописки может быть использован только один раз. Это делается специально для того, чтобы минимизировать риск несанкционированного использования.

Прописка в DECT может осуществляться по эфиру, когда после установления радиосвязи с двух сторон происходит верификация того, что используется один и тот же ключ прописки. Происходит обмен идентификационной информацией, и обе стороны просчитывают секретный ключ аутентификации, который используется для аутентификации при каждом установлении связи. Секретный ключ аутентификации не передается по эфиру.

Портативная часть DECT может быть прописана на нескольких базовых станциях в различных системах. При каждом сеансе прописки, портативная часть просчитывает новый ключ аутентификации, привязанный к сети, в которую она прописывается. Новые ключи и новая информация идентификации сети добавляются к списку, хранящемуся в портативной части, который используется в процессе соединения. Трубки могут подключиться только к той сети, в которую у них есть права доступа.

Аутентификация трубки может осуществляться как стандартная процедура при каждом установлении связи. Во время сеанса аутентификации базовая станция проверяет аутентификационный ключ, не передавая его по эфиру.

Принцип нераскрытия идентификационной информации при передаче информации в эфире заключается в следующем. Стационарная часть посылает портативной случайное число (*random number*), которое называется «запрос» (*challenge*). Портативная часть рассчитывает по определенному алгоритму «ответ» (*response*), комбинируя аутентификационный ключ (*authentication key*) с полученным случайным числом и передает «ответ» стационарной части. Стационарная часть также просчитывает ожидаемый «ответ» и сравнивает его с полученным «ответом». В результате сравнения происходит либо продолжение установления связи (*call set-up*) либо разъединение (*release*).

Как видно, ключ аутентификации, который может быть использован для несанкционированного доступа в систему, в эфире не передается, т. к. и «запрос», и «ответ» являются случайными числами. Даже при их перехвате для вычисления ключа аутентификации, необходимо знать алгоритм для выявления ключа из «запроса» и «ответа». Процесс извлечения ключа при этом требует очень больших

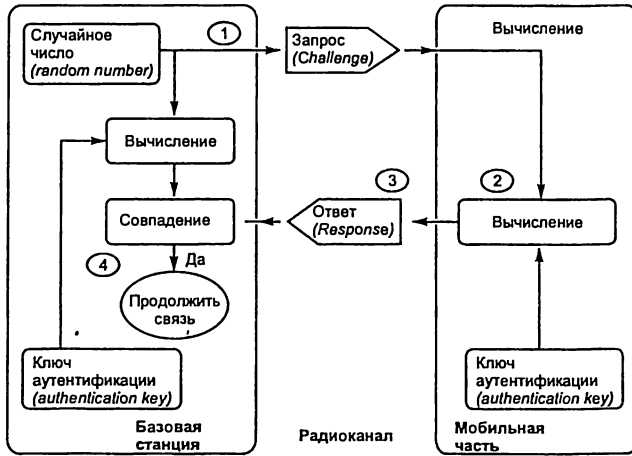


Рис. 1.14. Аутентификация устройств в системе DECT

компьютерных затрат, а стоимость этой операции становится неоправданно высокой.

Таким образом, процесс аутентификации представляет собой способ отправки конфиденциальной идентификационной информации в зашифрованном виде в эфире для предотвращения ее перехвата. Этот принцип может быть применен и для шифрования данных пользователя. Во время процедуры аутентификации обе стороны также просчитывают ключ шифрования (*Cipher key*).

Этот ключ используется для **шифрования** данных, передаваемых по эфиру. Принимающая сторона использует тот же ключ для расшифровки информации.

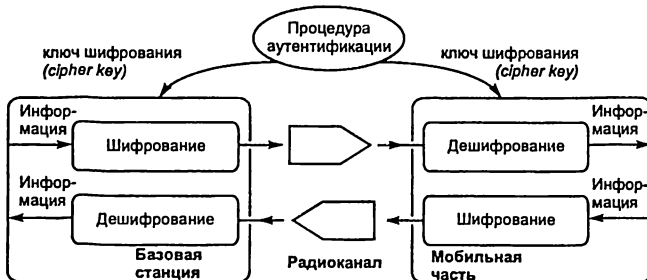


Рис. 1.15. Процесс шифрования в DECT

## 2. Типы систем DECT и приложений

### Области применения и рынки

Первые трубки и базовые станции DECT поступили на рынок летом 1993 года, GAP-совместимое оборудование DECT появилось в продаже весной 1996 года. Продажи DECT изделий составили 0,5 млн в 1994 г., 1,5 млн в 1995 г., 5 млн в 1996 г., а в 1999 г. — 20 млн единиц оборудования. По данным DECT Форума количество пользователей в 1999 году превысило 45 млн, а в 2000 году оно достигнет 75 млн. Количество различных продуктов на рынке достигло в 1999 году 200 и непрерывно увеличивается. Такой успех стандарта DECT на мировом рынке обеспечил ряд его преимуществ перед другими стандартами подвижной связи, уже отмеченных ранее, но весьма важным при этом является гибкость DECT в отношении реализации конкретных приложений. Это позволяет поддерживать с помощью DECT технологии различные виды услуг.

Как уже говорилось, DECT представляет собой технологию радиодоступа, конкретная же реализация структуры приложения, технические аспекты выполнения оборудования зависят от возможностей фирм-производителей и потребностей рынка. Спецификации DECT, разработанные ETSI, определяют широкий диапазон потенциальных приложений, что и делает стандарт DECT очень мощным. Укрупненные структуры основных видов приложений DECT приведены на рис. 2.1.

Основная часть предлагаемого на рынке DECT оборудования — это домашние и бизнес-системы. Большинство ведущих фирм-производителей стремятся освоить этот рынок. Так, на выставке CeBIT'99 экспонировались бесшнуровые DECT телефоны следующих фирм: Abest, Actebis Computer, Alcatel, Ascom, Audioline, Auto Telecom, Bang & Olufsen Telecom, Basari, Binatone, CCT Telecom, Daewoo Telecom, DBTEL, DeTeWe, ECI Telecom, Elmeg, Ericsson, Goodwin Europe, Grundig, Hagenuk, Inventel, Kirk, Kokusai Electric, Loewe, Martens.

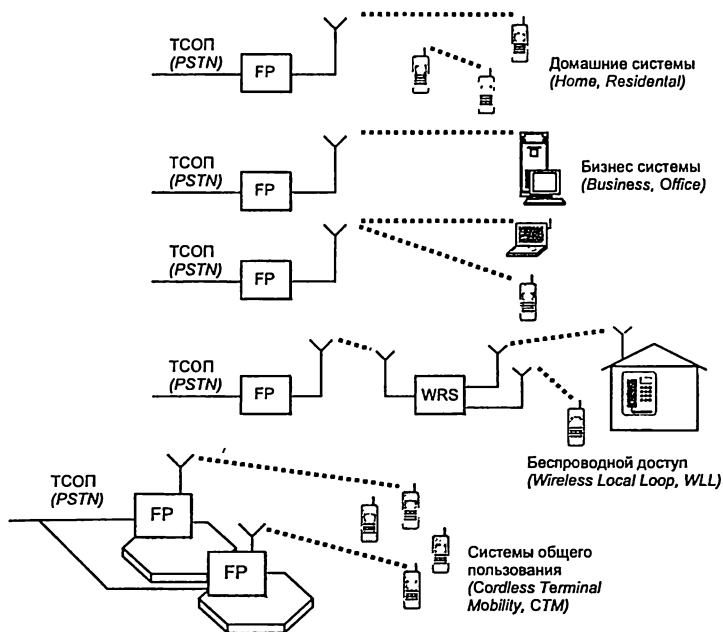


Рис. 2.1. Приложения стандарта DECT

Multitone, Olympia Telecom, Panasonic, Philips, Phonebox, Rexon, Roskamp & Burhop, SAGEM, Samsung, Sanyo, Siemens, Telefield, Telital, Tiptel, Topcom, VLSI, VTech.

Дальнейшее развитие стандарта DECT будет диктоваться спросом на новые виды услуг, необходимостью дальнейшего усовершенствования связи [6]. Развитие DECT, связанное с появлением новых приложений, приводит к дополнениям существующей базы стандартов и появлению новых профилей стандарта.

## Домашние системы

Домашний телефон (*Residential Telephones*) — это, как правило, односотовая DECT система для домашнего использования, в которой применяется одна или несколько абонентских трубок, между которыми возможна бесшнуровая бесплатная связь. Зона обслуживания зависит от локальных условий и составляет в помещениях около 50 м, вне помещений — 300 м.

Домашний односотовый бесшнуровой телефон (*cordless phones*) DECT обеспечивает значительно лучшее качество речи, предлагает большее количество услуг и защищенность информации, чем обеспечиваемые бесшнуровыми телефонами предыдущих поколений. Поэтому пользователи начинают заменять свои старые бесшнуровые телефоны более низкого качества стандартов СТ0 и СТ1 телефонами DECT.

Такие системы могут предоставлять пользователям бесплатную связь при разговоре между собой с использованием одного базового блока FP и нескольких трубок (обычно четырех-шести). При необходимости домашняя DECT система может быть легко расширена путем приобретения и подключения дополнительных трубок. То, что бесшнуровой телефон DECT может быть легко трансформирован в домашнюю или малую офисную АТС простым добавлением дополнительных трубок, является для покупателей чрезвычайно привлекательным.

Все эти особенности DECT систем делают их весьма удобными для использования в качестве домашних телефонных систем.

## Бизнес-системы

Бизнес-системы (*business applications*) DECT обеспечивают бесшнуровую связь абонентов непосредственно с ТФОП или через УАТС. Подобно домашней системе, телефонная система для малого бизнеса (*Telephone Systems for Small Businesses*) может иметь в небольшом офисе или предприятии лишь один базовый радиоблок — базовую станцию. Потенциально один приемопередатчик базовой станции мог бы поддерживать до 12 одновременных дуплексных разговоров по 12 телефонным линиям. Приемопередатчик может быть более простым и дешевым, поддерживая только шесть портативных устройств, что является обычно вполне достаточным.

В сфере большого бизнеса покрытия, обеспечиваемого одиночной базовой станцией, то есть, односотовой системой, просто недостаточно. С помощью многосотовых систем бесшнуровой связи DECT, называемых большими бизнес-системами (*Large Business Telephone Systems*) можно обеспечить мобильную связь для большого



числа абонентов, обслужить значительную по территории зону или предоставить связь группам абонентов, расположенным в нескольких различных местах. Это делает возможным применение систем DECT в качестве бизнес-систем в условиях большого офиса или производства. Механизмы динамического выбора канала и хендовера в DECT обеспечивают эффективность и надежность таких систем, развертываемых как внутри помещений, так и снаружи, для больших офисов и промышленных предприятий с количеством пользователей 4000—5000. Эти механизмы поддерживают функционирование таких бизнес-систем даже в том случае, если несколько DECT систем развернуто на одной территории.

## Системы абонентского радиодоступа

Такие системы, называемые WLL (*Wireless Local Loop*) или RLL (*Radio Local Loop*), используются для быстрого беспроводного подключения абонента или группы абонентов к телефонной сети общего пользования в местах, где не развиты кабельные линии, или в местности с малой плотностью абонентов, когда прокладка кабелей экономически нецелесообразна или физически невозможна.

Услуги связи предоставляются абоненту через стандартную телефонную розетку на беспроводном терминальном адаптере СТА (*CORDLESS Terminal Adapter*), к которой подключается телефонный аппарат. СТА, устанавливаемый у абонента, по сути дела, является фиксированным вариантом носимой части и использует радиоканал для соединения с стационарной частью DECT, которая подключена непосредственно к сети общего пользования. Для организации радиоканала используют, как правило, наружные направленные антенны, при этом обеспечивается дальность действия до 5 км, а в некоторых случаях ее можно увеличить для передачи речи и доступа в Internet вплоть до 15 км, и даже 25 км [6]. Применение радиорелейной станции WRS (*Wireless Relay Station*) в дополнение к этому еще увеличивает дальность действия системы. WRS может быть оснащена одной антенной, направленной на стационарную часть, и одной всенаправленной антенной для предоставления доступа к сети общего пользования пользователям, находящимся на удаленных территориях. С по-

мощью WRS могут быть устранены разрывы в покрытии, обусловленные различного рода препятствиями и рельефом местности.

Фиксированный радиодоступ DECT WLL предоставляет экономичное средство установления конечного звена связи (последней мили) в сети общего пользования. С помощью технологии DECT WLL, операторы сетей могут обслуживать своих клиентов, осуществив относительно незначительные финансовые вложения по сравнению с затратами, необходимыми при использовании других технологий доступа.

Во всем мире запущено в эксплуатацию большое количество систем фиксированного доступа на основе DECT. Темпы их роста указывают на то, что системы бесшнурового доступа могут стать преобладающим приложением DECT, а технология DECT является наиболее распространенной на рынке WLL.

## **Микросотовые системы общего доступа**

Важным приложением DECT являются системы общего пользования (*Public Telecommunications Applications*) и, в частности, микросотовые системы общего доступа СТМ (*Cordless Terminal Mobility*), развертываемые в местах значительного сосредоточения абонентов. Микросотовые системы общего пользования СТМ позволяют обслуживать подвижных абонентов, перемещающихся с небольшой (до 30 км/час) скоростью. Оборудование DECT может эффективно удовлетворить нужды в услугах бесшнуровой связи, создавая среду общего доступа там, где возникает такая необходимость, например, в аэропортах, гостиницах, торговых центрах, на железнодорожных станциях. Это позволяет использовать одну и ту же трубку дома, на работе и на улице, прописывая ее в этих системах. При этом возможен роуминг с использованием одного и того же номера. Когда носимое абонентское устройство размещается в среде доме или офиса, оно связано со стационарной сетью через частную базовую станцию (*private base station*), и работает как нормальный бесшнуровой телефон. Размещаясь в среде общего доступа, носимое устройство связывается со стационарной сетью через стационарные радиочасти общего доступа (*Public Radio Fixed Parts*).

В течение ряда последних лет, производители DECT получили значительные заказы на публичные системы DECT для пешеходов. Опытные инсталляции осуществляются в настоящее время в нескольких странах, демонстрируя устойчивую работу, а в ряде стран (Италия, Венгрия, Германия, Испания, Швеция, Швейцария, Великобритания, Финляндия) такие системы уже запущены в опытную или коммерческую эксплуатацию. Это ускоряет создание и развитие инфраструктур DECT, базовых станций и трубок, специально разработанных для микросотовых систем общего доступа.

## Многомодовые беспроводные и сотовые системы

DECT и GSM являются успешно дополняющими друг друга технологиями. Сети GSM, особенно их 900 МГц вариант, вообще лучше подходят к обеспечению покрытия в широкой географической области, но имеют более высокую стоимость инфраструктуры и носимых устройств. DECT, наоборот, лучше подходит для малых зон покрытия с напряженным пользовательским трафиком. При этом затраты на развертывание таких систем сравнительно малы, как и стоимость абонентских устройств.

В настоящее время производителями и пользователями проявляется значительный интерес к перспективам использования двумодовых телефонов GSM/DECT. Такие телефоны позволяют пользователю использовать широкую область обслуживания сотовой сети GSM, пока он находится вне офиса или далеко от дома. То же самое абонентское устройство абонент использует дома или в офисе, когда он оказывается в зоне обслуживания базовой станции DECT. Это означает, что оно может применяться и для того, чтобы сделать вызов другому DECT абонентскому устройству через базовую станцию. Когда пользователь покидает дом, двумодовый телефон автоматически переходит в GSM режим, так как пользователь выходит за пределы зоны обслуживания DECT базовой станции.

Эксплуатация первой в мире коммерческой двумодовой DECT/GSM службы **OnePhone** была начата в Великобритании с середины мая 1999, приблизительно через 18 месяцев после первоначально запланированной даты. Ограниченные коммерческие испыта-

ния первоначально ожидалось к концу 1997, но их начало было задержано из-за недостатка доступных подходящих двумодовых носимых устройств.

## Режимы прямой связи

Изначально стандарт DECT разрабатывался для использования в сетевой топологии типа «звезда». При использовании такой топологии, если два портативных терминала PT (*Portable terminations*) должны связаться друг с другом, они производят это через базовую станцию FT, находящуюся в центре звезды (рис. 2.2, а).

При использовании DECT системы только для передачи речи такая топология, как правило, достаточна, чтобы удовлетворить требования отдельного пользователя. В этом случае одним стационарным радиоокончанием (*Fixed Radio Termination*) могут быть обработаны до 12 параллельных речевых соединений.

Вследствие того, что все соединения должны происходить только через FT, пропускная способность, которая FT может предлагать непосредственно отдельному пользователю, определяется трафиком всей DECT системы. Если в стационарной части FT используется только один приемопередатчик, в лучшем случае будет до 24 частотно-временных каналов, доступных для всех участников системы. Эта ситуация реализуется, например, если все каналы используются для передачи данных с достижимой скоростью передачи данных системы до 2 Мбит/с.

В больших DECT системах, важной задачей которых является обслуживание большого числа вызовов одновременно, это ограничение

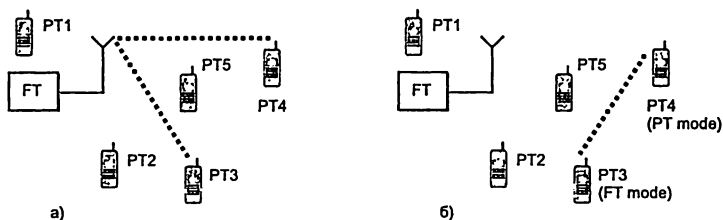


Рис. 2.2. Использование традиционной топологии (а) и прямого режима (б) для связи PP-PP

преодолевается использованием в стационарной части более, чем одного приемопередатчика, что конечно приводит к существенному увеличению аппаратурных затрат и стоимости.

В ходе совершенствования основных DECT спецификаций были введены дополнения, представленные во второй редакции издания DECT CI стандарта 300 175, допускающие использование режима «свободного от базовой станции» (*Base Station free*). Этот режим называют режимом прямой связи PP с PP (*Direct Portable-to-Portable communication*) или просто прямым режимом (*Direct Mode*). В этом режиме, реализуемом при незначительном изменении используемого программного обеспечения, абоненты DECT системы получают возможность разговаривать друг с другом, используя трубки как портативные радиостанции (рис. 2.2, *b*). Очевидно, этот режим реализуется только в том случае, если оба абонента находятся внутри общей зоны обслуживания, составляющей обычно 100 м. Следует отметить, что телефоны DECT могут предупреждать пользователя о выходе из зоны обслуживания (*out-of-range*), что уже реализовано рядом производителей.

Прямой режим, являющийся, по сути дела, режимом портативной дуплексной связи (*Walkie Talkie Mode*), является, по выражению авторов сайта DectWeb, «одним из лучше всего сохраняемых секретов DECT телефонии».

Важнейшим нормативным документом, определяющим прямой режим, является часть 5.5 основного DECT стандарта EN 300175-6, связанная с идентификацией прав доступа ARI Класса E (*Access Rights Identity Class E*). Другой важнейший источник — дополнение G (*Annex G*) последней версии общих технических требований TBR6, датированное 1999 годом, в котором содержится информация, касающаяся испытаний соответствия носимых устройств, включая возможности применения прямого режима.

При работе в режиме прямой связи PP с PP портативные части не присоединены к сети общего пользования. Следовательно, обязательным для этого режима работы является только тестирование в соответствии с TBR 6. Кроме того, аппаратура может быть проверена согласно определенным профилям взаимодействия, например, GAP.

С самого начала своего развития DECT был технологией, позволяющей производить передачу данных со скоростью до 553 кбит/с.

Эта возможность оговаривалась уже в первом выпуске стандарта DECT CI 1992 года. Последние тенденции в работе с сетями и необходимость достижения более высоких скоростей передачи данных привели к введению в нормативных документах так называемой DECT распределенной связи (*Distributed communication*). По сути дела в этом случае реализуется усовершенствованная комбинация традиционной топологии «звезды» и прямой связи PP с PP.

При этом наряду с известными DECT компонентами — стационарная часть FP и носимая часть PP — вводится новый элемент системы — гибридная часть Нур (*Hybrid Part*). Стандартом также устанавливается определение распределенной локальной сети связи DECT DCDL-net (*Distributed Communication DECT Local Network*). Включение ряда дополнительных требований дает DECT системе реальную сетевую мощность до 240 каналов за систему, до 24 каналов на одно соединение, например, если все каналы используются для передачи данных при системной скорости передачи данных 10×2 Мбит/с).

Распределенная связь впервые была представлена в 1998 году как часть проекта EN 301 650 DMAP, называемого в то время MMAP. Позже начальные предложения были переписаны и представлены в стандарте поддержки пакетной связи EN 301 649 DPRS (*DECT Packet Radio Service*) в 1999 году. Заключительная версия была издана в 2000. В настоящее время требования протокола распределенной связи являются частью EN 300 175-5, а специальная часть в отношении поддержки DPRS включена в стандарт EN 301 649.

### 3. Стандартизация DECT

#### Процесс разработки документальной базы DECT

Обычно стандарты связи являются наборами отработанных в иных системах, как правило, частных и военных, технических решений и аналитических приемов, которые прошли устроенные разработчиками стандарта конкурсы. DECT же, как принято говорить, представляет собой стандарт, «сошедший с кончика пера», так как большинство его ключевых технических решений было физически реализовано после их теоретической проработки и опубликования.

Стандарт DECT разработан членами Европейского института по стандартам электросвязи ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*). Первоначально процесс стандартизации DECT производился в Европейской конференции администраций почт и связи CEPT. Начиная с 1988 года разработка стандартов осуществлялась в ETSI, где это направление было с 1996 года выделено в отдельный проект DECT:

- 1992 г. — первая редакция стандарта DECT;
- 1993 г. — появление на рынке первого оборудования DECT (трубки и базовые станции);
- 1994 г. — разработан общий профиль доступа GAP;
- 1995 г. — вторая редакция стандарта (экстренный вызов, введение нового компонента системы — беспроводной релейной станции (WRS), описание прямой связи между НЧ);
- 1996 г. — появление на рынке GAP-совместимого оборудования DECT.

Первая редакция стандарта DECT появилась в 1992 г., после чего работа по стандартизации DECT была сконцентрирована на определении общего профиля доступа GAP и других профилей взаимодействия DECT/GSM, DECT/ISDN, DECT/Radio Local Loop, CTM и нескольких профилей передачи данных.

Процесс разработки стандартов DECT осуществляется и в настоящее время для того, чтобы поддержать постоянно развивающийся спектр услуг, предоставляемый на базе DECT, разработку, производство и продажу новых видов оборудования. Помимо ETSI в процессе стандартизации DECT и его продвижения участвует еще ряд организаций. Огромную роль в продвижении и развитии технологии DECT играет **DECT Форум** — международная ассоциация производителей оборудования и операторов DECT. На Интернет сервере этой организации — [www.dect.org](http://www.dect.org), а также на сервере **DECTweb** (*DECTweb — the online forum for the global DECT community*) — [www.dectweb.com](http://www.dectweb.com) можно найти оперативную информацию, касающуюся различных аспектов технологии DECT.

В процессе согласования и продвижения стандарта DECT в рамках Европейского Сообщества принимает участие Европейская Комиссия ЕС (*European Commission*), выпускающая время от времени различные директивы и рекомендации. Наиболее значимой представляется Директива Совета Европейского Союза 1991 (**EU Council Directive 91/287/ЕЕС**) о частотном диапазоне, который нужно выделить для координированного введения DECT в Европейском Сообществе.

ETSI разрабатывает документы четырех основных категорий:

- EN — европейские нормы (*European Norm*);
- ETS — ETSI технические требования (*Technical Specifications*);
- ETR — ETSI технические отчеты (*Technical Report*);
- TBR — общие технические требования (*Technical Basis for Regulation*).

**Европейские нормы EN и ETSI технические требования ETS** содержат материалы, предназначенные для технических специалистов, прежде всего, разработчиков DECT оборудования. В **технических отчетах ETSI ETR** представлены краткие обзоры некоторых ключевых вопросов, связанных со стандартом DECT и работой систем, основанных на этом стандарте. Разрабатываемые ETSI **общие технические требования TBR** основаны на соответствующих стандартных спецификациях. Подборка наиболее интересных нормативных документов приведена в конце книги.

В настоящее время **основными направлениями** стандартизации DECT являются следующие [5]:



- базовый стандарт GAP, призванный обеспечить совместимость оборудования различных фирм-производителей, предназначенного для передачи речи;
- интерфейс DECT/GSM, используемый при сопряжении систем DECT с сетями GSM;
- сопряжение систем DECT и сетей ISDN;
- двумодовые абонентские устройства DECT/GSM;
- системы абонентского радиодоступа на базе DECT;
- передача данных в системах DECT.

В стадии принятия находится в настоящее время разработанный ETSI базовый стандарт пакетной передачи данных с использованием радиointерфейса DECT, получивший название **DPRS (DECT Packet Radio Services)**. В этом стандарте прописаны процессы предоставления услуг по высокоскоростной передаче данных различным категориям пользователей.

Другой стандарт, разработанный ETSI, и так же проходящий национальное согласование — профиль доступа к услугам мультимедиа **DMAP — (DECT Multimedia Access Profile)**.

## Стандарт DECT ETS 300 175

Основной стандарт DECT по структуре многоуровневый и содержится в документе ETS 300 175. Этот Европейский стандарт связи ETS (*European Telecommunication Standard*) состоит из 9 частей [11—19]. Части со 2 по 5 включительно определяют эфирный интерфейс (*air interface*). Они структурированы по уровням, в соответствии с нижними уровнями модели взаимодействия открытых систем OSI Международной организации по стандартизации ISO. Часть 6 определяет структуру идентификации и адресации в системах DECT, а часть 7 — параметры безопасности. Часть 8 определяет аспекты передачи речи, а часть 9 — профиль общего доступа PAP. Данный стандарт содержит всеохватывающий набор требований, протоколов и сообщений, предоставляющий разработчикам возможность создания профилей сетевого доступа, обеспечивающих доступ практически к любому типу телекоммуникационных сетей.

## Часть 1: Обзор (Overview)

Обзор [11] содержит введение в полный стандарт ETS 300 175. Он включает описание системы и архитектуры протокола и словарь терминов.

## Часть 2: Физический уровень PHL (Physical Layer)

В данной части стандарта [12] определяются радиопараметры систем DECT: рабочие частоты, временная синхронизация, значения мощности, метод модуляции, битовая и слотовая синхронизация, характеристики приемника и передатчика.

## Часть 3: Уровень управления доступом к среде MAC

Уровень управления доступом к среде MAC (*Medium Access Control*) определяет три группы MAC услуг:

- услуга управления вещательными сообщениями (*broadcast message control service*);
- услуга управления сообщениями без установления логического соединения (*connectionless message control service*);
- услуга многоканального управления (*multi-bearer control service*).

Стандарт [13] определяет логические каналы, которые используются вышеупомянутыми услугами, мультиплексирование и организацию физических каналов.

## Часть 4: Уровень управления передачей данных (DLC)

DLC уровень определяет две группы DLC услуг: услуги С-плана (*Control Plane, C-plane*) и услуги U-плана (*User Plane, U-plane*).

Для С-плана определено двухточечное обслуживание (*point-to-point service*) и вещательное обслуживание (*broadcast service*). Двухточечное обслуживание может использоваться в режиме подтверждения (*acknowledged mode*) или неподтверждения (*unacknowledged mode*) получения и обеспечивает адресацию (*addressing*), разграничивание кадра (*frame delimiting*), контроль ошибок (*error cont-*

rol), управление потоком данных (*flow control*), сегментацию полей информации сетевого уровня (*segmentation of network layer information fields*), фрагментацию кадров DLC (*fragmentation of DLC frames*) и эстафетную передачу (хендовер) подключения (*connection handover*).

Для U-плана определены «прозрачное» незащищенное обслуживание (*transparent unprotected service*), функция передачи кадров (*frame relay service*), функция переключения кадров (*frame switching service*) и функция адаптации скорости (*rate adaption service*).

### Часть 5: Сетевой уровень (NWK)

Сетевой уровень NWK определяет функции управления соединением (*Link Control*), управления вызовом СС (*Call Control*), дополнительные услуги SS (*Supplementary Services*), обслуживание сообщений с установкой соединения COMS (*Connection Oriented Message Service*), обслуживание сообщений без установления соединения CLMS (*Connectionless Message Service*) и управление подвижностью ММ (*Mobility Management*). Для этих групп стандарт [15] содержит процедуры, сообщения и информационные элементы.

### Часть 6: Идентификация и адресация

Часть стандарта [16], относящаяся к идентификации и адресации (*Identities and Addressing*) определяет основные соответствующие принципы и процедуры, используемые в DECT. Они разделены в следующие четыре категории:

- идентификация FP;
- идентификация PP;
- идентификация, связанная с соединением;
- идентификация, связанная с оборудованием.

### Часть 7: Параметры безопасности

Параметры безопасности (*Security Features*) определяют полную структуру мер безопасности для систем DECT, т. е. процедуры по предотвращению несанкционированного доступа и перехвата инфор-

мации. Стандартом устанавливаются типы требуемых криптографических алгоритмов, пути их использования.

### **Часть 8: Кодирование и передача речи**

В разделе стандарта, посвященном кодированию и передаче речи (*Speech Coding and Transmission*) в полосе частот 3,1 кГц, определены требования к DECT оборудованию, необходимые для обеспечения дуплексного речевого диалога в реальном масштабе времени. Определены алгоритм кодировки речи, детализированные аудио характеристики: чувствительность, частотная характеристика, местные эффекты, искажения, изменение уровней сигналов, внеполосные сигналы, шум, акустический удар, задержки и управление сетевым эхом.

### **Часть 9: Профиль общего доступа (PAP)**

Профиль общего доступа PAP (*Public Access Profile*) определяет обязательные, минимальные и дополнительные требования к DECT оборудованию, используемому для предоставления услуг общего доступа (*Public Access Services*).

## **Профили приложений DECT**

Для обеспечения совместимости оборудования от разных производителей и взаимодействия различных приложений DECT институтом ETSI стандартизирован ряд параметров, описаний и процедур интерфейсов, описанные в стандартах профилей DECT (*DECT Profile*). В профилях приложений содержатся дополнительные спецификации, определяющие использование технологии DECT в конкретных приложениях. Таким образом, профили отражают специфику конкретного применения и определяют, какие части основных стандартов и в какой части системы, должны быть выполнены, чтобы гарантировать определенное обслуживание с помощью независимо произведенного стационарного и портативного оборудования.

Для обеспечения совместимости оборудования DECT от разных производителей, члены ETSI к концу 1993 г. начали работу над определением профилей взаимодействия стандарта. Общий профиль до-

ступа GAP стал первым таким профилем, и работа над ним была закончена в 1994 г. Он содержит подмножество требований протокола, необходимое для обеспечения базовых телефонных услуг в домашних бесшнуровых телефонах, беспроводных частных АТС для бизнеса и приложений доступа в сети общего пользования, являясь основой для всех остальных DECT профилей передачи речи.

Наиболее значимыми являются следующие профили DECT:

- Generic Access Profile GAP
- Data Services Profiles DSP
- Radio Local Loop Access Profile RAP
- Cordless Terminal Mobility Profile CAP
- DECT/GSM Interworking Profile GIP
- DECT/ISDN Interworking Profile IIP

Помимо подготовки профилей, ETSI занимается разработкой **тестовых спецификации на соответствие профилю**, позволяющих проводить всестороннее тестирование оборудования DECT, претендующее на удовлетворение требований профиля. Основные стандарты поддерживаются библиотекой тестовых данных (*Test Case Library*) ETS 300 497, которая определяет протоколы тестов для всех параметров MAC, DLC и NWK уровней протокола.

## Общий профиль доступа GAP

Общий профиль доступа GAP (*Generic Access Profile*) — это базовый профиль DECT, он относится ко всем носимым и стационарным частям DECT, которые поддерживают услуги передачи речи с полосой 3,1 кГц независимо от типа сети доступа [21]. Профиль определяет минимальный обязательный набор технических требований для обеспечения совместимости между любой стационарной и портативной GAP частями DECT. В профиле прописаны процедуры установления, поддержания и завершения соединений для передачи речи с полосой 3,1 кГц, а также процедуры управления мобильностью для входящих и исходящих вызовов подвижных пользователей. В настоящее время в дополнение к профилю GAP разработан ряд нормативных документов, касающихся предоставления услуг передачи речи, сертификации и тестирования соответствующих устройств.

## Профиль сопряжения DECT/GSM GIP

Как уже отмечалось, DECT является технологией доступа, и подвижность пользователя в сети выходит за рамки стандарта. Профиль DECT GIP является дополнением основного стандарта, обеспечивающим подвижность пользователя в DECT системе, путем использования функций мобильности GSM.

Профиль сопряжения DECT/GSM для базовой услуги передачи речи с полосой 3,1 кГц ETS 300 370 [22] (*DECT/GSM Interworking Profile*) совместно с документами ETS 300 499 и ETS 300 703 [23,24] определяют требования протокола по взаимодействию носимой части DECT с сетью GSM через стационарную часть DECT. При этом стационарная часть DECT напрямую соединяется с А-интерфейсом центра коммутации услуг подвижной связи MSC сети GSM.

По сравнению с GAP профиль сопряжения DECT/GSM содержит дополнительные требования, вызванные рядом процедур:

- использованием ключей шифрования GSM (*GSM cipher keys*);
- использованием идентификации GSM (*GSM identities*);
- поддержкой носимой частью процедур аутентификации GSM (*GSM authentication procedures*), которые отличаются от процедур DECT.

## Профили сопряжения с сетями ISDN IAP и IIP

Для сопряжения сети ISDN и системы DECT были определены два профиля (*ISDN interworking Profiles*), профиль DECT/ISDN для конфигураций конечных систем ETS 300 434 (IAP) и профиль DECT/ISDN для конфигураций промежуточных систем DE/RES-03039 (IIP).

IAP применяется, когда стационарная и носимая части DECT вместе составляют терминал ISDN, т. е. услуги ISDN и дополнительные услуги предлагаются носимой частью DECT.

IIP применяется, когда стационарная и носимая части DECT вместе составляют прозрачный шлюз между сетью ISDN и одним или более терминалами ISDN, подключаемыми к So-интерфейсу на промежуточной DECT носимой системе DIPS (*DECT Intermediate Por-*

*table System*). Профиль IPP поддерживает базовый доступ ISDN и все услуги, предоставляемые сетью.

## Профиль фиксированного радиодоступа RAP

Профиль фиксированного радиодоступа DECT-ETS 300 765 RAP (*Radio Local loop Access Profile*) определяет подмножество протокола DECT, необходимое для предоставления услуг сети общего пользования ее конечным пользователям [27]. RAP подразделяется на две части:

- часть 1 профиля определяет предоставление услуг базовой телефонии (сеть общего пользования, услуга передачи данных со скоростью 64 кбит/сек и услуги обеспечения функционирования, администрирования и обслуживания OA&M (*Operation, Administration and Maintenance*) по эфиру;
- часть 2 описывает услуги ISDN и широкополосные пакетные услуги (включая порт передачи данных).

Концепция WRS определена в ETS 300 700 [29], подробную информацию о применении можно найти в ETR 246 [30]. В ETR 310 [31] представлено исследование емкости трафика и требований к спектру для приложений DECT в мультисистемах и системах, предоставляющих разнообразные услуги.

## CAP — профиль доступа в СТМ

Услуги микросотовых систем общего пользования СТМ (*Cordless Terminal Mobility*) предоставляют возможность пользователям передвигаться в пределах сети и между сетями. В местах, где обеспечено радиопокрытие, подвижный пользователь может, при наличии соответствующих прав доступа, производить и получать вызовы. При этом во время разговора он может передвигаться по сотовой структуре без разрыва связи. Профиль CAP (*CTM Access Profile*) похож на взаимодействие DECT/GSM с той разницей, что CAP не ограничивается функциями мобильности существующей сети GSM, а может в соответствии со стандартом взаимодействовать с сетью любого типа, обеспечивающей функции мобильности. В профиле CAP ставится за-

дача обеспечения совместимости с GAP, поэтому фактически он является расширением GAP, стимулирующим использование DECT в публичных приложениях.

## Перспективы развития стандарта

Для работы над стандартом в ETSI сформированы несколько рабочих групп, осуществляющих работу по следующим направлениям [6]:

- **базовый радиointерфейс DECT/CI** — разработка стандартов базового интерфейса CI, общего профиля доступа GAP, микросотовых систем общего доступа CTM, межсетевое взаимодействие DECT/GSM, фиксированного абонентского доступа;
- **передача данных DECT/DATA** — разработка профилей, относящихся к передаче данных, основными из которых являются пакетная передача данных DPRS, доступ в Интернет DIAP (*DECT Internet Access Profile*), предоставление услуг мультимедиа DMAP;
- **тестирование DECT/TEST** — разработка спецификаций по тестированию в DECT.

Наиболее перспективными направлениями дальнейшего развития стандартов DECT специалисты считают следующие:

- двумодовые абонентские устройства DECT/GSM;
- поддержка высокоскоростной передачи данных;
- поддержка приложений систем третьего поколения UMTS;
- разработка нормативных стандартов.

Стандарт DECT утвержден в качестве одного из интерфейсов систем связи третьего поколения UMTS (3G), поэтому в ETSI происходит активная работа по разработке нормативных документов, связанных с поддержкой 3G услуг. Комитеты ETSI сосредоточили усилия на введении в стандарт новых схем модуляции высокого уровня, которые приведут к удвоению или утроению скорости передачи данных, поддерживаемой DECT. Это позволит довести скорость передачи данных в системе до 2 Мбит/с, и удовлетворить требования стандартов на системы связи третьего поколения.



## 4. Общий интерфейс CI DECT

### Структура физического канала

Чтобы создать физический канал (*physical channel*), необходим радиоспектр. Пространство радиоспектра имеет три измерения: частота, время, географическое пространство. В спектре выделяются физические каналы, при совместном использовании его в этих трех измерениях.

Таким образом, физический канал DECT — это путь (во времени, частоте и пространстве), по которому устанавливается связь между двумя оконечными радиоточками (*radio end points*). Оконечной радиоточкой называют любую часть (совокупность оборудования) стационарной инфраструктуры или носимой части PP (*Portable Part*), содержащую один стационарный или носимый приемопередатчик. Типовым является носимое устройство (*handset*). Физический канал обеспечивает симплексный битовый канал (*simplex bit-pipe*) между двумя оконечными радиоточками. Чтобы установить дуплексное телефонное соединение, между оконечными точками должны быть организованы два физических канала. Назначение одного или более физических каналов на соединение является задачей более высоких уровней протокола. В DECT реализован механизм, называемый «хендвером», используемый для освобождения одного физического канала и выделения другого в любом измерении или во всех трех, без разрыва соединения.

### Температурные режимы

Требования к тем или иным параметрам аппаратуры, приведенные далее, относятся к номинальным условиям, если не установлены экстремальные условия. Тестирование при экстремальных условиях могут включать комбинации ограничительных значений экстремальной температуры и изменения источника питания, определенные для каждого случая в I-ETS 300 176 [20].

Стандартами ETSI определены следующие номинальные и экстремальные диапазоны температур [12]:

- Номинальная температура (*Nominal temperature*):  
PP, FP, RFP, CCFP                      от +15 до +35 °C
- Экстремальная температура (*Extreme temperature*):  
PP    от 0 до +40 °C;  
FP, RFP, CCFP, класс E1              от +10 до +40 °C;  
FP, RFP, CCFP, класс E2              от –0 до +55 °C.

Условия окружающей среды класса (*environmental class*) E1 относится к оборудованию, установленному в нагреваемых и/или охлаждаемых пространствах внутри помещений, обеспечивающих персональный комфорт, например, в домах, офисах, лабораториях или цехах. Условия окружающей среды класса E2 относится ко всем другим установкам оборудования.

## Организация РЧ каналов

### Номинальное положение РЧ несущих частот

Для осуществления доступа по частоте в системе DECT выделяются десять РЧ несущих частот. Номиналы несущих частотных каналов  $F_c$  должны находиться в диапазоне частот 1880—1900 МГц и иметь значения, которые находятся по формуле:  $F_c = F_0 - C \times 1,728$  МГц, где:  $F_0 = 1897,344$  МГц; и  $C = 0, 1, \dots, 9$ . Диапазон частот между частотами  $F_c - 1,728/2$  МГц и  $F_c + 1,728/2$  МГц должен обозначаться как РЧ канал  $C$ . Все DECT оборудование должно быть способно на работу во всех 10 РЧ каналах  $F_0, F_1, \dots, F_9$ . Дополнительные несущие частоты, размещаемые выше этого диапазона, определяются по формуле:  $F_c = F_9 + C \times 1,728$  МГц.

### Точность и стабильность несущих РЧ частот

В фиксированной радиочасти RFP частота передаваемой несущей соответствующего РЧ канала  $C$  должна находиться в пределах  $F_c \pm 50$  кГц при экстремальных условиях.

В портативной радиочасти PP отклонение при экстремальных условиях частоты не должно превышать  $\pm 50$  кГц от номинального

значения абсолютной опорной частоты или от принимаемой несущей частоты. Исключением является первая секунда после перехода из ждущего захваченного состояния (*idle-locked state*) к активному захваченному состоянию (*active-locked state*), когда отклонение частоты не должно превышать  $\pm 100$  кГц от номинала принимаемой несущей при экстремальных условиях. Вышеупомянутый переход состояний определен в ETS 300 175-3 [15]. Во время передачи максимальная скорость изменения несущей частоты в RFP и PP не должна превышать 15 кГц на слот.

#### **Точность и стабильность опорного тактового генератора (таймера)**

Портативная радиочасть PP должна иметь стабильность и точность опорного таймера в экстремальных условиях лучше, чем 25 ppm. Опорный тактовый генератор (таймер) (*Reference timer*) RFP или PP — воображаемый опорный сигнал, с которым соотносятся параметры временной синхронизации в процессе формирования TDMA кадра (кадрирования).

Фиксированная RFP, которая может работать более чем с одной дуплексной парой физических каналов на кадр, называется многоканальной RFP (*multi-channel RFP*). Многоканальная RFP должна иметь стабильность и точность опорного таймера лучше, чем 5 ppm и в экстремальных условиях лучше, чем 10 ppm. Одноканальная RFP может только работать с одной дуплексной парой физических каналов на кадр, за исключением ситуаций хендвера. Одноканальная RFP должна иметь в экстремальных условиях стабильность и точность опорного таймера лучше, чем 10 ppm.

Каждое радиоокончание имеет собственную временную синхронизацию МДВР структуры вследствие задержки распространения и несинхронизированности систем.

#### **Структура кадра, полного слота, двойного слота и полуслота**

Данные в системе DECT передаются со скоростью 1152 кбит/с с использованием регулярной TDMA (МДВР) структуры. Она повто-

ряется в кадрах (*frame*) по 11 520 битов, внутри кадра создаются 24 полных слота (*full-slot*), каждый состоит из двух полуслотов (*half-slot*). Структуры кадра, слотов приведены на рис. 4.1, 4.2 и 4.3.

Полные слоты нумеруются от  $K = 0$  до  $K = 23$ , полуслоты имеют номера  $L = 0$  или  $1$ , причем полуслот  $0$  предшествует полуслоту  $1$ . Обычно полные слоты с номерами от  $K = 0$  до  $11$  используются для организации каналов в направлении от RFP к PP, в то время как полные слоты с номерами от  $K = 12$  до  $23$  используются в направлении от PP к RFP.

Каждый полный слот имеет длительность 480 битовых интервалов. Битовые интервалы внутри полного слота имеют обозначения от  $f_0$  до  $f_{479}$ . Каждый полуслот имеет продолжительность 240 разрядных интервалов. Полуслоты начинаются с бита  $f_0$  или  $f_{240}$ .

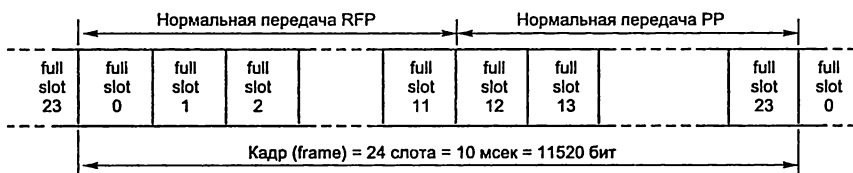


Рис. 4.1. Формат полного слота (Full slot format)

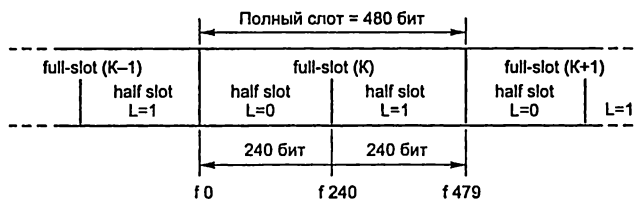


Рис. 4.2. Формат полуслота

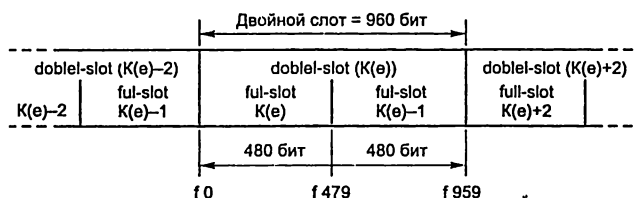


Рис. 4.3. Формат двойного слота

Двойной слот (*double slot*) равен длине двух полных слотов, и начинается одновременно с четным пронумерованным полным слотом. Каждый двойной слот (*Double slot*) имеет продолжительность 960 разрядных интервалов. Двойные слоты имеют обозначения от  $K = 0$  до 22 с четными значениями  $K$ . Разрядные интервалы внутри двойного слота обозначаются от  $f0$  до  $f959$ . Обозначение битов  $f0$  —  $f479$  совпадает с обозначением для полных слотов с четными  $K$ ,  $K(e)$ .

### Физические пакеты

Данные передаются с использованием физических пакетов (*Physical packets*) одного из следующих типов:

- короткий физический пакет (*short physical packet*) P00;
- основной физический пакет (*basic physical packet*) P32;
- физический пакет малой емкости (*low capacity physical packet*) P08j;
- физический пакет большой емкости (*high capacity physical packet*) P80.

Все RFP должны быть способны на передачу а все портативные части PP на получение коротких физических пакетов P00. Все радио окончания должны быть способны на передачу и получение по крайней мере одного из типов физических пакетов P32, P08j или P80.

Каждый физический пакет содержит поле синхронизации (*synchronization field*) S, и поле данных (*data field*) D. Пакеты P80, P32 и P08j могут содержать дополнительное поле обнаружения столкновений (*collision detection field*) Z.

### Физические каналы

Физические каналы (*Physical channels*) должны быть созданы, при передаче модулированных физических пакетов, на конкретном РЧ канале, в конкретное время в последовательных кадрах, в конкретном месте. Физические каналы должны быть установлены между PP и RFP. Один физический канал может обеспечивать симплексное обслуживание без установления логического соединения, и пара физических каналов может обеспечивать дуплексную речевую связь.

В стандарте DECT физические каналы нумеруются с использованием записи Ra (K, L, M, N). При этом применяются следующие обозначения:

- a — определяет тип используемого пакета:
  - a = 00 — используется физический пакет P00;
  - a = 32 — используется физический пакет P32;
  - a = 08j — используется физический пакет P08j;
  - a = 80 — используется физический пакет P80.
- K — определяет полный таймслот {0, ..., 23}, в котором начинается передача;
- L — определяет, начинается ли передача на границе слота или полуслота:
  - L = 0 — передача пакета начинается в разрядном интервале f0;
  - L = 1 — передача пакета начинается в разрядном интервале f240;
- M — определяет, которая несущая частота {0, ..., 9} используется;
- N — определяет номер стационарной радиочасти RPN, использующей физический канал;
- s — определяет, используется ли расширенная преамбула (*extended preamble*):
  - s = 0 — нормальное поле синхронизации преамбулы;
  - s = 16 — продленное поле синхронизации преамбулы;
- z — определяет, является ли доступным Z-поле.

Рис. 4.4 иллюстрирует типы доступных каналов, слоты, в которых они передаются, используемые пакеты, и типовое использование каждого канала.

**Короткий физический канал R00 (*short physical channel*)** используется для того, чтобы передать сигнал маяка (*beacon signal*) или организовать холостой однонаправленный канал (*dummy bearer*) для базовой станции при отсутствии трафика, поэтому его называют каналом нулевой скорости. В канале используется короткий пакет P00 в 96 битов, передаваемый в границах полного слота.

**Основной физический канал R32 (*basic physical channel*)** применяется для нормальной 32-кбит/с ADPCM передачи речи. При этом используется основной физический пакет P32 в полном слоте. Пакет должен быть передан только в границах полного слота.

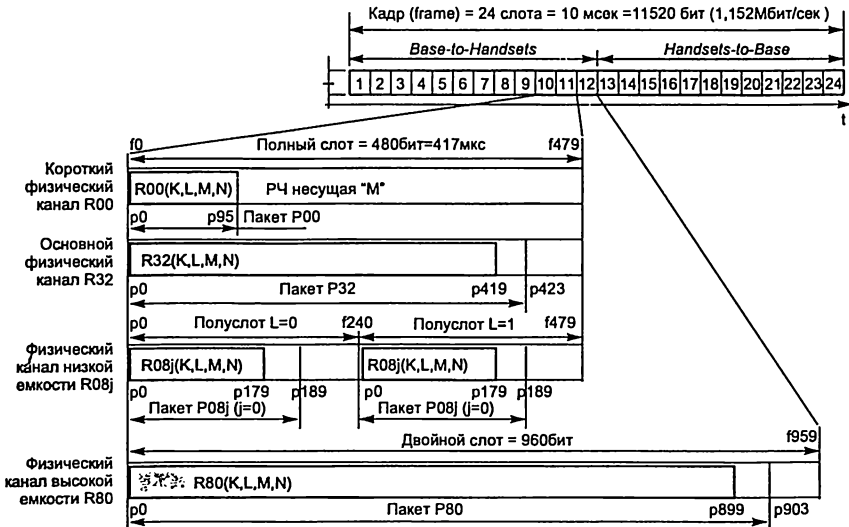


Рис. 4.4. Типы слотов и каналов

**Физический канал низкой емкости R08j (*low-capacity physical channel*)**, или канал половинной скорости, предназначен для организации трафика при использовании полускоростного речевого кодека. Канал использует пакет P08j в полуслоте. Обозначение R08j указывает на то, что в канале используется скорость передачи данных 8 кбит/с, которая может быть увеличена до  $8 + j$  кбит/с.

**Физический канал высокой емкости R80 (*high-capacity physical channel*)** может использоваться для предоставления услуг стандартной телефонии при скорости передачи данных 64 кбит/с. При использовании пакета P80 в двойном слоте скорость может быть доведена до 80 кбит/с.

### Радиопередача физических пакетов

Требования к процессу передачи определены ниже и графически отображаются временной маской, представленной на рис. 4.5.

#### Передаваемая мощность (*Transmitted power*)

Передаваемая мощность — это средняя мощность, отдаваемая за один РЧ цикл.

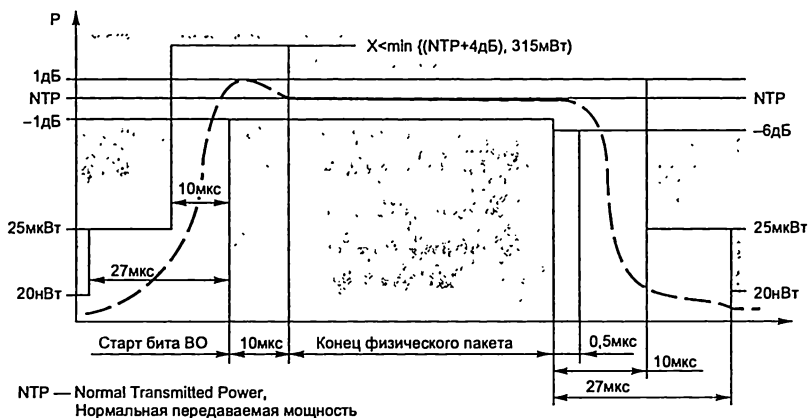


Рис. 4.5. Временная маска для пакетов, формируемых в системе DECT

### Нормальная передаваемая мощность NTP (*Normal Transmitted Power*)

Нормальная передаваемая мощность NTP — переданная мощность, усредненная от начала бита  $p_0$  физического пакета до конца физического пакета.

### Конец физического пакета (*End of the physical packet*)

Физический пакет P00 заканчивается в конце бита  $p_{95}$ .

Физический пакет P32 заканчивается в конце бита  $p_{41}$  или  $p_{423}$ .

Физический пакет P08j заканчивается в конце бита  $p(179 + j)$  или  $p(183 + j)$ .

Физический пакет P80 заканчивается в конце бита  $p_{89}$  или  $p_{903}$ .

### Время нарастания передатчика (*Transmitter attack time*)

Время нарастания передатчика — это временной интервал от момента, когда передаваемая мощность начинает увеличиваться с 25 мкВт, до начала передачи первого бита физического пакета  $p_0$ . Время нарастания передатчика должно быть меньше, чем 10 мкс, при экстремальных условиях.

### Время спада передатчика (*Transmitter release time*)

Время спада передатчика — это временной интервал от конца физического пакета до момента уменьшения переданной мощности



до 25 мкВт. Время спада передатчика должно быть меньше, чем 10 мкс, при экстремальных условиях.

#### **Минимальная мощность (*Minimum power*)**

От первого бита пакета  $p_0$  до конца физического пакета передаваемая мощность должна быть больше, чем (NTP –1 дБ), при экстремальных условиях.

#### **Максимальная мощность (*Maximum power*)**

Через 10 мкс после начала бита  $p_0$  до 10 мкс после конца физического пакета переданная мощность должна быть меньше, чем (NTP + 1 дБ) при экстремальных условиях. Начиная с 10 мкс перед началом бита  $p_0$  до 10 мкс после начала бита  $p_0$ , переданная мощность должна быть меньше, чем (NTP + 4 дБ) и меньше чем 315 мВт, при экстремальных условиях.

### **Схема модуляции**

В соответствии со стандартом [12] в качестве метода модуляции в DECT должна быть использована гауссовская частотная манипуляция GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*), с произведением ВТ (*bandwidth-bit period*), равным 0,5. Двоичная «1» кодируется пиковой девиацией частоты +  $f$ , приводящей к пиковой девиации передаваемой частоты (*peak frequency deviation*), равной  $F_c + f$ , значение которой является большим, чем номинальное значение несущей частоты  $F_c$ . Двоичный «0» кодируется пиковой девиацией частоты –  $f$ . Номинальная пиковая девиация  $f$  должна быть равной 288 кГц.

### **Нежелательное излучение мощности**

Процесс генерации и излучения РЧ мощности практически всегда сопровождается появлением нежелательных (побочных) составляющих в спектре излучаемого сигнала (*Unwanted RF power radiation*), приводящем к ухудшению качества функционирования системы. Стандартом DECT вводятся ограничения на побочные составляющие, имеющие различный механизм возникновения, в частности, на нежелательные излучения, обусловленные модуляцией

(*Emissions due to modulation*), коммутацией передатчика (*Emissions due to transmitter transients*) [12].

При передаче на физическом канале Ra (K, L, M, N) в последовательных кадрах, излучаемая в физическом канале Ra (K, L, Y, N) мощность должна иметь значения, меньшие, чем приведенные в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Излучение на РЧ канале «Y»	Максимальный уровень мощности, обусловленный модуляцией	Максимальный уровень мощности, обусловленный коммутацией
$Y = M \pm 1$	160 мкВт	250 мкВт
$Y = M \pm 2$	1 мкВт	40 мкВт
$Y = M \pm 3$	40 нВт	4 мкВт
Y = Любой другой DECT канал	20 нВт	1 мкВт

### Прием физических пакетов

В стандарте введен термин «Опорное DECT радиоокончание» (*reference DECT radio end point*), используемый для обозначения оборудования DECT, которое отвечает соответствующим критериям, данным в I-ETS 300 176 [88]. Основные два из требований для опорного DECT радиоокончания следующие:

а) передаваемая мощность 250 мВт  $\pm 1$  дБ поддерживается от начала бита  $r_0$  до конца физического пакета;

б) используется GMSK модуляция с  $BT = 0,5$ , что обеспечивает уровень помехи в соседнем канале (*adjacent channel interference*) на 40 дБ ниже уровня 250 мВт.

Чувствительность радиоприемника (*radio receiver sensitivity*) определена стандартом DECT как уровень мощности на входе приемника, при котором коэффициент битовых ошибок BER (*Bit Error Rate*) для D-поля равен 0,001. Чувствительность радиоприемника должна быть  $-83$  дБм (т. е. 60 дБмкВ/м), или лучше.

Опорный коэффициент битовых ошибок (*reference bit error rate*) радиоприемника — это максимальный допустимый коэффициент

*ент битовых ошибок* для уровня мощности на входе приемника  $-73$  дБм или большего (т. е.  $70$  дБмкВ/м). Опорный коэффициент битовых ошибок для D-поля равен  $0,00001$ .

Перед использованием DECT физического канала для передачи или приема, приемник должен быть способен измерить силу сигналов на этом физическом канале, находящихся в диапазоне от  $-93$  дБм (т. е.  $50$  дБмкВ/м) до  $-33$  дБм (т. е.  $110$  дБмкВ/м) с разрешающей способностью лучшей, чем  $6$  дБ. Таким образом, канал формирования сигнал RSSI используемый для измерения как самых слабых РЧ сигналов, которые можно использовать для связи, так и самых мощных сигналов, которые могут воздействовать на приемник вблизи базовой станции, должен быть линеен в диапазоне  $60$  дБ. Принимаемые сигналы с уровнем, меньшим  $-93$  дБм, должны производить результат, равный, или меньший, чем тот, что произвел сигнал  $-93$  дБм. Результат, производимый сигналом с уровнем большим  $-33$  дБм, должен быть равным или большим, чем производимый сигналом  $-33$  дБм.

### Использование технологии DECT в ISM диапазоне 2,4 ГГц

Для того чтобы система связи могла развиваться и быть востребованной во всем мире, требующийся для нее диапазон частот должен быть абсолютно доступен, по крайней мере, в большинстве индустриально развитых стран. Кроме того, это должен быть открытый для любой системы радиосвязи диапазон, работа в котором не требует лицензирования (*License-free band*). Единственный диапазон частот, который удовлетворяет этим требованиям — это так называемый Индустриальный, научный и медицинский диапазон ISM (*Industrial, Scientific, Medical*), занимающий полосу частот от  $2400$  до  $2483,5$  МГц в США и Европе и от  $2471$  до  $2497$  МГц в Японии. В ряде стран, например, Франции и Испании доступны только части этой полосы частот. Части 15 и 16 норм Федеральной комиссии связи FCC (*Federal Communications Commission*) Соединенных Штатов учитывают использование трех индустриальных научных медицинских диапазонов частоты: от  $902$  до  $928$  МГц, от  $2400$  до  $2483$  МГц и от

5725 до 5850 МГц. Следовательно, ISM система может быть использована во всем мире, при условии, что приемопередатчики функционируют в диапазоне частот между 2,4 и 2,5 ГГц и могут выбирать для использования надлежащий участок в этой полосе.

Обозначаемые аббревиатурой ISM РЧ диапазоны предназначены для использования в промышленных, научных и медицинских целях. В ряде стран эти диапазоны доступны для использования без лицензии, если выполнены некоторые условия, в частности, не превышает значение выходной мощности, ограничиваемой очень малыми значениями. Так как диапазон ISM открыт для свободного использования, работающие в этой полосе системы радиосвязи должны быть устойчивы к воздействию различных непредсказуемых источников помех, возникающих при использовании бытовых устройств наблюдения и управления, управляемых гаражных дверей, беспроводных телефонов и самых сильных источников помех — микроволновых печей. Помех можно избегать, например, применяя адаптивную систему, которая находит и использует свободную от различного рода помех часть спектра. Работа в условиях сильных помех может осуществляться с использованием методов расширения спектра (*spectrum spreading*) и в частности — скачков по частоте. В США устройства, работающие в ISM полосе 2,45 ГГц, применяют методы расширения спектра (*spectrum-spreading techniques*), если уровень мощности их передатчика превышает 0 дБм.

Главное отличие между DECT-ISM и DECT состоит в том, что стандарт DECT-ISM применяется в так называемом незащищенном ISM диапазоне (*non-protected ISM spectrum*), в то время как базовый DECT применяется в частотном диапазоне, выделяемом исключительно для использования системами DECT. Однако в ISM диапазоне допускается одновременное несогласованное использование ряда устройств несовместимых систем связи и промышленных, научных и медицинских приборов. Следовательно, в DECT-ISM системе не будет гарантироваться высокое качество обслуживания, когда на одной территории используются другие типы ISM устройств.

Специально для использования технологии радиодоступа DECT в ISM частотных полосах был создан стандарт ETSI TS 101 948 — DECT derivative for implementation in the 2,45 GHz ISM Band [107]. Главная цель определения DECT-ISM состоит в том, чтобы учесть

введение технологии, основанной на стандарте DECT, в тех странах, где не может быть использован основной частотный диапазон, определяемый для DECT, но допускается использование радиотехнологий с использованием скачков по частоте в диапазоне ISM 2,4 ГГц. Использование ISM диапазонов для беспроводных телефонов в значительной степени ориентировано на рынок США.

Главное отличие между технологиями DECT и DECT-ISM — добавление механизма скачков по частоте (*frequency hopping patterns*), удовлетворяющих части 15 правил FCC [108—110].

Для DECT в ISM диапазоне РЧ несущие обычного DECT оборудования заменены последовательностями скачков по частоте (*sequences of frequency hopping*) внутри диапазона ISM. Динамический выбор канала (*Dynamic channel selection*) должен производиться между этими последовательностями при использовании те же процедур, что и в обычном DECT для динамического выбора канала между РЧ несущими.

В полосе частот 2400...2483,5 МГц диапазона ISM размещаются 45 РЧ несущих частот с центральной частотой  $F_c$ , определяемой по формуле:

$$F_c = F_0 + C \times 1,728 \text{ МГц},$$

где:  $F_0 = 2403,648 \text{ МГц}$ ;  $C = 0,1, \dots, 44$ .

Стандартом определено понятие «набор скачков» (*hopset*) — псевдослучайная последовательность наборов несущих частот ISM диапазона, в котором каждая из определенного набора несущих частот ISM диапазона представлена один и только один раз. Каждый набор скачков (*hopset*) псевдослучаен с одним скачком на каждую из 45 несущих частот. Стандартом определены 10 наборов скачков с номерами  $m$  от 0 до 9. Относительный номер кадра  $i$  (*relative frame number*) используется в таблице скачков. Формула для генерации набора скачков определена в разделе А.2 стандарта [107]. Псевдослучайная последовательность скачков в однонаправленном канале передачи данных получается при периодическом повторении набора скачков на одном определенном номере слота DECT-ISM кадра длительностью 10 мс.

В фиксированной радиочасти RFP частота передаваемой несущей соответствующего РЧ канала  $C$  должна находиться в пределах

Фс  $\pm 80$  кГц при экстремальных условиях. В портативной радиочасти РР отклонение при экстремальных условиях частоты не должно превышать  $\pm 80$  кГц от номинального значения абсолютной опорной частоты или от принимаемой несущей частоты. Исключением является первая секунда после перехода из ждущего захваченного состояния (*idle-locked state*) к активному захваченному состоянию (*active-locked state*), когда отклонение частоты не должно превышать  $\pm 140$  кГц от номинала принимаемой несущей при экстремальных условиях.

Мощность передатчика DECT-ISM обычно на 4 дБ меньше, чем базового DECT и составляет 20 дБм (100 мВт). Кроме того, использование скачков по частоте сделало неэффективным использование на стационарных частях DECT FP переключаемых разнесенных приемных антенн. Типичный DECT-ISM бюджет связи на 10 дБ ниже, чем у базового DECT: 2 дБ составляют потери из-за использования более высокого диапазона частот, 4 дБ из-за меньшей мощности передатчика и, по крайней мере, 4 дБ — потери на разнесение (*diversity loss*).

Через 27 мкс после конца физического пакета и за 27 мкс перед передачей следующего символа данных р0, мощность передатчика должна быть меньше чем 200 нВт (рис. 4.6). Это требование не относится к ситуации, когда символ р0 следующего передаваемого пакета встречается раньше, чем через 54 мкс после конца передаваемого физического пакета.

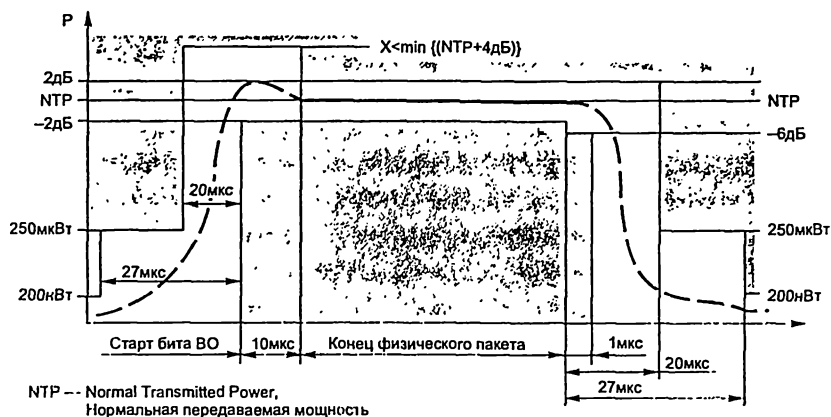


Рис. 4.6. Временная маска системы DECT-ISM

Мощность NTP измеряется на выходном разъеме. Если блоки PP или FP имеет интегрированную антенну, этот разъем является временным. Мощность передатчика  $P_{NTP}$  [дБ] – 20 дБм – X, где X — коэффициент усиления антенны [дБ].

В силу более высоких значений рабочих частот и меньшей выходной мощности системы DECT-ISM имеют меньший размер покрытия, чем базовые DECT системы. Несмотря на ряд ограничений по сравнению с базовой технологией DECT, DECT-ISM имеет ряд привлекательных свойств и характеристик по сравнению с другими технологиям связи диапазона ISM.

## 5. Архитектура протокола

Структура DECT стандартов ETS основана на принципах взаимодействия открытых систем OSI (*Open Systems Interconnection*), используемых в семиуровневой модели Международной организации по стандартизации ISO [8]. Полный общий интерфейс CI (*Common Interface*) соответствует 3 нижним уровням OSI модели, но стандарт DECT определяет 4 уровня протокола. Эти нижние уровни отличаются от модели OSI, потому что в модели взаимодействия открытых систем не трактуется использование радиопередачи в физическом уровне PHL или концепция эстафетной передачи (хендовера).

Четырехуровневая структура используется для протоколов сигнализации (*signalling protocol*), как показано на рис. 5.1.

Верхняя часть уровня NWK соответствует верхней части уровня 3 OSI. Промежуточные границы не имеют эквивалента в модели OSI, но для легкости понимания ниже дано приблизительное соответствие [11]:

- OSI уровень 1: соответствует всему уровню PHL плюс часть уровня MAC;
- OSI уровень 2: большая часть уровня MAC плюс весь DLC;
- OSI уровень 3: весь NWK уровень.

Эту иерархию протоколов передачи сигналов, обычно называемую протокольным стеком (*protocol stack*), иллюстрирует рис. 5.2 [5].

Уровни не обязательно должны иметь какой-либо физический эквивалент. Они используются как метод описания и определения

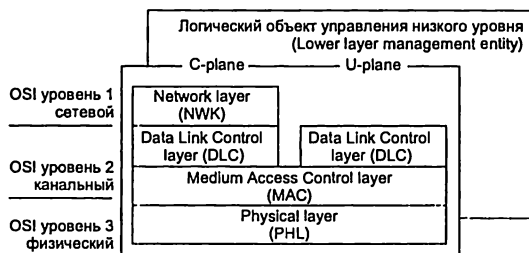


Рис. 5.1. Уровневая архитектура протокола DECT



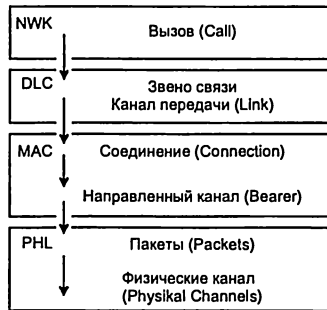


Рис. 5.2. Иерархия протокола DECT и основные функции уровней

внешних требований интерфейса. В частности, каждый уровень готовит и форматирует сообщения сигнализации для равного (такого же) уровня в носимом устройстве или базовой станции. Например, протокол уровня PHL носимого устройства готовит и передает сообщения, которые понятны протоколу уровня PHL базовой станции.

Интерфейс между уровнями определен в терминах примитивов (*primitives*). Примитивы не имеют какого-либо физического значения, их используют только для обеспечения формального метода описания того, как уровни взаимодействуют друг с другом и, таким образом, того, как будет происходить передача сигналов по эфирному интерфейсу.

## Физический уровень PHL

В физическом уровне PHL (*Physical layer*) радиоспектр делится на физические каналы (*physical channel*). Это деление происходит в двух фиксированных измерениях: частоте и времени.

## MAC уровень

На уровне доступа к среде MAC (*Medium Access Control*), во-первых должны быть установлены соединения, затем они обеспечивают передачу данных, иногда с управлением потоком данных и/или защитой от ошибок; наконец соединения освобождаются, когда они больше не нужны. Соединения всегда используют этот трехфазный процесс.

MAC уровень выполняет две основных функции. Во-первых, он выбирает физические каналы, и затем устанавливает (*establishes*) и освобождает (*releases*) соединения на этих каналах. Во-вторых, он мультиплексирует и демultipлексирует информацию управления совместно с информацией более высокого уровня и информацией контроля ошибок в слотовые пакеты. Эти функции используются, чтобы обеспечить три независимых услуги: вещательное обслуживание (*broadcast service*), обслуживание с установкой соединения (*connection oriented service*) и обслуживание без установления логического соединения (*connectionless service*).

При вещательном обслуживании всегда происходит передача в каждой соте даже в отсутствии трафика пользователя, по крайней мере, по одному физическому каналу. Эти передачи «маяка» (*«beacon» transmission*) позволяют портативной части РР быстро идентифицировать все фиксированные РР, находящиеся в зоне приема, выбирать одну и синхронизироваться с ней без необходимости производить какие-либо передачи РР.

## DLC уровень

Уровень управления передачей данных DLC (*Data Link Control*) имеет отношение к обеспечению надежных каналов связи для NWK уровня. Многие недостатки радиопередачи удаляются работой MAC уровня. DLC уровень предназначен, чтобы совместно с MAC уровнем обеспечить большую целостность данных, чем это достигалась бы только MAC уровнем.

Уровневая DECT модель разделяется в уровне DLC на два плана (уровня) функционирования (*plane of operation*): С-план или план управления (*C-plane, control plane*) и U-план (уровень) или пользовательский (*U-plane, user plane*).

План С является общим для всех приложений и обеспечивает надежные соединения для передачи сигнализации внутреннего управления и ограниченных количеств трафика пользовательской информации. Полный контроль ошибок обеспечивается протоколом доступа к связи LAPC (*Link Access Protocol*).

План U обеспечивает семейство альтернативных услуг, где каждое обслуживание оптимизировано для частных нужд специфического типа услуг. Самая простая услуга — это прозрачное незащищенное обслуживание, используемое для передачи речи. Другие услуги поддерживают режим коммутации и пакетный режим передачи данных с изменяющимися уровнями защиты.

## Сетевой уровень NWK

Сетевой уровень NWK (*Network*) является основным уровнем передачи сигналов протокола. Он функционирует, используя обмен сообщениями между равноправными объектами (*peer entities*). Основной набор сообщений поддерживает установление, поддержание и освобождение соединений. Дополнительные сообщения поддерживают множество расширенных возможностей.

## Объект управления нижнего уровня LLME

В традиционных проводных системах передачи речи и данных трафик пользователя и сигнализация обычно могут быть описаны взаимодействиями конкретного уровня непосредственно с вышестоящим и нижестоящим уровнями [8]. В большинстве же систем радиосвязи, отдельные их аспекты не относятся четко к тем или иным уровням, нарушая при этом нормальный механизм иерархического представления. Для адекватного описания систем радиосвязи традиционные уровневые представления нуждаются в дополнительном элементе. Эти «нестандартные» взаимодействия регулируются объектом управления нижнего уровня LLME (*Lower-Layer Management Entity*). Полная архитектура протокола иллюстрируется рис. 5.3.

Например, для выбора свободного радиоканала, более высокие уровни должны измерить силу радиосигнала на данном канале, пренебрегая при этом нормальным механизмом иерархического представления. При этом LLME сообщает PHL, о необходимости произвести измерение на определенном канале и вернуть измеренное значение PHL. Затем LLME может составить упорядоченный список

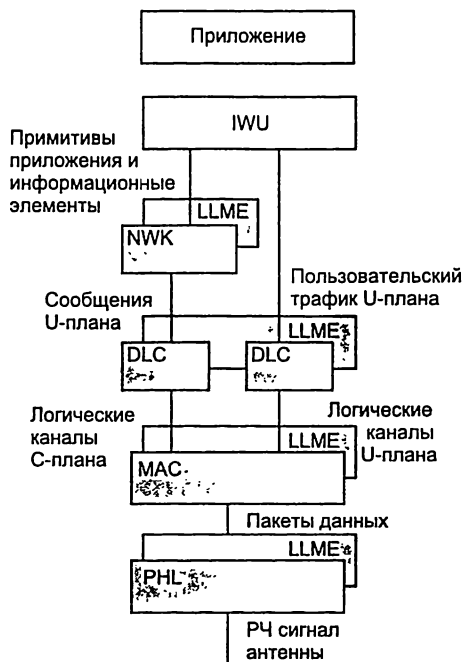


Рис. 5.3. Взаимодействие уровней протокола DECT

каналов, на которых сигналы маяка имеют самые большие значения или на которых имеются самые низкие уровни сигнала помехи [5].

Введение LLME не требует того, чтобы изделие содержало особые узлы, выполняющие особые задачи, оно просто означает, что должны выполняться определенные процедуры, которые касаются более, чем одного уровня. Большинство этих процедур имеет только локальное значение, и они определены в общих терминах для того, чтобы сделать возможным альтернативные реализации устройств. Расположение некоторых процедур LLME следующие:

#### MAC уровень:

- создание, поддержка и освобождение каналов связи путем активизации и дезактивизации пар физических каналов;
- управление физическим каналом, включая выбор свободных физических каналов и оценку качества полученных сигналов.

**DLC уровень:**

- управление соединениями, которое включает установление и освобождение соединений по требованию уровня NWK;
- маршрутизация данных С и U-планов на подходящие соединения.

**NWK уровень:**

- согласование и отображение обслуживания.

**Блоки межсетевого взаимодействия IWU**

Вообще, блок межсетевого взаимодействия IWU (*Interworking Unit*) требуется для обеспечения необходимых функций межсетевого взаимодействия. Передача информации конечному пользователю требует дополнительных уровней протокола, находящихся вне области рассмотрения основных стандартов DECT. IWU преобразовывает сигналы и сообщения, используемые в эфирном интерфейсе к формату, подходящему для конкретного типа сети (PSTN, GSM, ISDN и т. д.). Например, при подключении к сети GSM, блок IWU должен вставить некоторые из идентификаторов и сообщений GSM в сигнализацию беспроводного протокола и передать эту сигнализацию по эфирному интерфейсу для GSM модуля идентификации абонента в носимом устройстве.

Беспроводная система доступа может быть связана с различного типа сетями через различные IWU. Это означает, что беспроводная система в принципе может быть подключена к сетям любого типа путем замены IWU. В архитектуре протокола IWU связывается с верхним уровнем протокольного стека, и обычно не взаимодействует непосредственно с LLME.

## 6. Принципы синхронизации в системе DECT

Для осуществления нормального приема цифровой информации необходимо произвести синхронизацию приемного устройства системы связи с передающим устройством. В системах радиосвязи переданный сигнал подвергается различным воздействиям, искажающим его. Для восстановления передаваемой информации в приемном устройстве необходимо иметь опорную тактовую импульсную последовательность (*Clock*), находящуюся в определенном фазовом соотношении с принимаемой цифровой последовательностью, обеспечивающем наилучшую помехоустойчивость приема. Процесс формирования в приемном устройстве синхронной последовательности отсчетов времени называют **тактовой или временной синхронизацией**, а в английском языке для обозначения этого процесса используют термины *timing* и *synchronization*. Опорную тактовую последовательность получают с помощью выделения значащих моментов из принимаемой цифровой последовательности. Далее в приемном устройстве переданная информация восстанавливается из искаженного сигнала путем побитовой обработки каждого элемента цифровой последовательности. Это происходит в решающих устройствах с использованием сформированной опорной тактовой последовательности временных отсчетов.

При додетекторной обработке сигнала в приемном устройстве необходимо произвести генерирование РЧ сигнала гетеродина, частота, а зачастую и фаза, которого в любой момент времени должна иметь строго определенное значение. Как правило, этот сигнал формируют с помощью синтезаторов частоты, позволяющих обеспечить требуемую погрешность и нестабильность частоты. Процесс формирования в приемопередающем устройстве опорных высокочастотных сигналов (*reference*) называют синтезом частот, использующиеся при этом процессы частотной или фазовой автоподстройки РЧ генераторов, называют обычно **синхронизацией (*synchronization*) РЧ генераторов**.

Следует отметить, что иногда в англоязычной литературе для обозначения процессов управления параметрами формируемых РЧ сигналов и опорных синхросигналов в устройствах и системах связи используют термин **Frequency and Timing Control**.

## Временная синхронизация

### Синхронизация базовых станций системы

Жесткая временная синхронизация всей системы БС (*System synchronization*) может и не являться обязательным требованием стандарта на систему. Однако, даже в системах с динамическим выбором каналов, достижение временной синхронизации БС обеспечивает улучшение внутрисистемной ЭМС, увеличение обрабатываемой в системе нагрузки, упрощает межсотовый хендовер.

Временная синхронизация БС, используемых в системе, достигается на уровне временных слотов, кадров, мультикадров, пакетов. Для ее обеспечения используются два основных метода:

- временная синхронизация с помощью проводных линий или радиоканалов, создаваемых между БС. Проводные линии используются в микро- и пикосотовых системах, где размер сот ограничен несколькими десятками или сотнями метров. При большем размере сот становится целесообразным использовать специально организуемые радиоканалы;
- временная синхронизация БС по сигналам спутниковых навигационных систем Глонасс или Navstar (GPS). Такой способ синхронизации целесообразно применять в макросотовых системах, при значительном количестве сот. Стоимость его невысока, так как простые приемники спутниковой навигации дешевы, и их стоимость постоянно снижается.

### Временная синхронизация абонентских терминалов

Передаваемая по каналам связи информация подвержена искажениям из-за воздействия целого ряда мешающих факторов. Для более уверенного формирования в приемном устройстве тактовой последо-

вательности с использованием искаженного при передаче принимаемого сигнала в формируемом сигнале цифровых систем связи размещают специальную синхропоследовательность, как правило, представляющую собой определенной длины серию чередующихся символов «1» и «0». Например, в системе DECT так называемое S-поле физических пакетов различного вида содержит 32-битовую синхронизирующую последовательность (*synchronization sequence*), которая является различной для базовой станции (RFP) и абонентского устройства (PP):

- RFP синхронизирующая последовательность:  
1010 1010 1010 1010 1110 1001 1000 1010
- PP синхронизирующая последовательность:  
0101 0101 0101 0101 0001 0110 0111 0101

После принятия решения о каждом битовом элементе производится принятие решения по кодовым комбинациям. Для этого в приемном устройстве должны быть выработаны синхросигналы, соответствующие началу и концу кодовых комбинаций, т. е. достигнут синхронизм по кодовым комбинациям, временным слотам, кадрам, что происходит в соответствующих устройствах фазирования.

Кратковременные или быстрые (с частотой более 10 Гц) отклонения значащих моментов (фазы) принимаемого цифрового сигнала от их идеального временного положения, называют фазовым дрожанием или джиттером (*Jitter*). Долговременные, медленные (с частотой менее 10 Гц) изменения фазы значащих моментов называют дрейфом фазы или вандером (*Wander*) [2.1—2.7].

### Пакетная синхронизация

В схеме организации связи, известной как TDMA (МДВР), данные передаются ограниченными по времени пакетами при строгом сетевом управлении. При этом между мобильной станцией и сетью поддерживается дуплексная связь, с использованием периодически повторяющейся структуры временных слотов. Эти повторяющиеся слоты обеспечивают по времени соответственное количество уникальных точек доступа для подвижных устройств. Для одного подвижного портативного устройства используется один из этих слотов.



В TDMA системах достижение временной синхронизации пакетов, поступающих в систему от отдельных МС, является ключевой задачей для обеспечения правильного функционирования системы.

### Межсистемная синхронизация

В связи с ростом количества развертываемых в одном географическом районе систем связи с подвижными объектами, вопрос о межсистемной ЭМС является весьма актуальным. Наиболее эффективным способом достижения межсистемной синхронизации (*Intersystem synchronization*) является синхронизация с использованием сигналов спутниковой навигационной системы GPS.

Системы связи с динамическим выбором каналов, например системы DECT, могут разворачиваться различными операторами или пользователями на одной территории без предварительного распределения частотного ресурса. Однако даже в таких системах использование межсистемной синхронизации позволяет улучшить эффективность использования выделенного частотного диапазона, особенно при большой плотности трафика. Взаимная временная синхронизация систем увеличивает количество свободных от помех частотно-временных каналов, которые потенциально могут быть использованы для установления связи. Кроме того, достижение межсистемной синхронизации позволяет предоставить абонентам возможность межсистемного хендвера (роуминга).

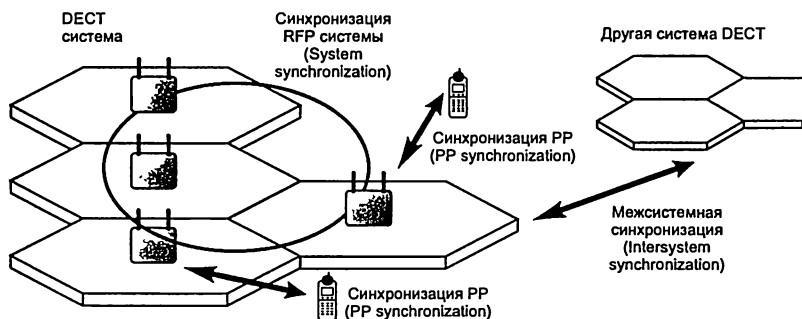


Рис. 6.1. Синхронизация в системе DECT

## РЧ синхронизация в системах подвижной связи

### Точность и стабильность несущих РЧ частот в системе DECT

Десять РЧ несущих частот частотных каналов  $F_c$  должны находиться в диапазоне частот 1880—1900 МГц и иметь номинальные значения, которые находятся по формуле:  $F_c = F_0 - C \times 1,728$  МГц, где:  $F_0 = 1897,344$  МГц; и  $C = 0, 1, \dots, 9$ . Диапазон частот между частотами  $F_{c-1,728/2}$  МГц и  $F_{c+1,728/2}$  МГц должен обозначаться как РЧ канал с номером  $C$ . Все DECT оборудование должно быть способно на работу во всех 10 РЧ каналах  $F_0, F_1, \dots, F_9$ . Дополнительные несущие частоты, размещаемые выше этого диапазона, определяются по формуле:  $F_c = F_9 + C \times 1,728$  МГц.

В фиксированной радиочасти RFP частота передаваемой несущей соответствующего РЧ канала  $C$  должна находиться в пределах  $F_c \pm 50$  кГц при экстремальных условиях.

В портативной радиочасти RP отклонение частоты не должно превышать  $\pm 50$  кГц (при экстремальных условиях) от номинального значения абсолютной опорной частоты или от принимаемой несущей частоты. Исключением является первая секунда после перехода из ждущего захваченного состояния (*idle-locked state*) к активному захваченному состоянию (*active-locked state*), когда отклонение частоты не должно превышать  $\pm 100$  кГц от принимаемой несущей при экстремальных условиях. Вышеупомянутый переход состояний определен в [13]. Во время передачи максимальная скорость изменения несущей частоты в RFP и RP не должна превышать 15 кГц на слот.

### Формирование РЧ несущих в устройствах DECT

При додетекторной обработке сигнала в приемном устройстве необходимо произвести генерирование РЧ сигнала гетеродинов, частоты которых в любой момент времени должны иметь строго определенное значение. Процесс формирования в приемопередающем устройстве опорных высокочастотных сигналов называют синтезом частот, использующиеся при этом процессы частотной или фазовой автоподстройки РЧ генераторов, называют обычно синхронизацией

РЧ генераторов. Требуемые РЧ сигналы формируются в системе синтеза частот с помощью синтезаторов частоты, позволяющих обеспечить требуемую погрешность и нестабильность частоты, как это показано на рис. 6.2. Диапазоны частот приема и передачи устройств, используемых в различных радиосистемах, характеризуются значительным разбросом, что приводит к необходимости применения при их физической реализации разнообразных технических и технологических решений.

Приемные устройства ССПО выполняются, как правило, по схеме с двойным преобразованием частоты. Для их реализации необходимы два опорных (гетеродинных) сигнала  $f_1$  и  $f_2$ , формируемых ССЧ. Перестройка приемника осуществляется обычно путем изменения в диапазоне  $f_{\min}$ — $f_{\max}$  с шагом  $F$  номинала частоты  $f_1$ , подаваемой на первый смеситель приемника и тракт передачи. Частоты приема и передачи устройств в большинстве систем различны, поэтому для организации работы приемопередатчиков необходима третья опорная частота  $f_3$ , с помощью которой и осуществляется разнос по частоте каналов приема и передачи, т. е. системный дуплексный сдвиг. Конкретные методы использования опорных частот в передатчике могут быть различными. ССЧ содержит один или несколько синтезаторов частот, для работы которых необходима опорная частота  $f_0$ , формируемая с помощью опорного генератора ОГ. Команды на перестройку синтезаторов и подстройку номиналов формируемых частот вырабатываются в информационном тракте приемопередат-

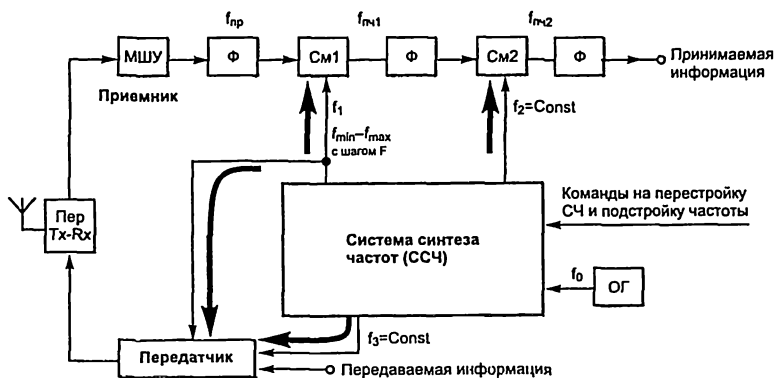


Рис. 6.2. Типовая структура РЧ блока приемопередатчика

чика (*Baseband Section*), в котором осуществляются низкочастотные операции, связанные с обработкой передаваемой информации перед подачей ее на модулятор и принимаемой информации после ее демодуляции, а также вспомогательные операции, обеспечивающие функционирование устройства и системы в целом.

## Синхронизация в системе DECT

Как уже упоминалось ранее, структура Европейского стандарта связи ETS основана на принципах уровней, используемых в модели взаимодействия открытых систем OSI Международной организации по стандартизации (ISO). Уровень управления доступом к среде MAC в комбинации с физическим уровнем PHL обеспечивает синхронизацию между стационарным радиоокончанием RFT (*fixed radio termination*) и портативными радиоокончаниями PRT (*portable radio termination*).

### Временная синхронизация в системе DECT

Стандартами DECT определяются три типа синхронизации:

- слотовая синхронизация (*slot synchronisation*) [12];
- кадровая синхронизация (*frame synchronisation*) [12];
- мультикадровая синхронизация (*multiframe synchronisation*) [13].

Во всех случаях стационарное радиоокончание FT является ведущим устройством (*timing master*) в процессе временной синхронизации, и портативному радиоокончанию PT всегда необходимо засинхронизироваться с FT, прежде чем оно сможет получить обслуживание.

Чтобы «захватить» («*lock*») передачу FT, необходима успешная синхронизация портативного окончания PT. На MAC уровне доступа к среде PT может находиться в одном из трех состояний синхронизации:

1) незахваченное состояние (*Unlocked state*): PT не синхронизирована с какой-либо стационарной радиочастью RFP;

2) состояние незавершенного захвата (*Lock pending state*): портативное окончание РТ принимает передачи RFP, но еще не имеет кадровой и/или мультикадровой синхронизации;

3) состояние захвата (*Locked state*): портативное окончание РТ достигло кадровой и мультикадровой синхронизации (захвата) с RFP.

### Состояния портативной части PP системы DECT

Детализированная диаграмма состояний портативной части PP, или абонентского терминала, обслуживаемый в системе DECT, приведена на рис. 6.3 [13].

Она может находиться в одном из четырех главных состояний:

1). Неактивное состояние (*Inactive state*): когда фиксированная часть RFP не получает и не передает. Это состояние не показано на диаграмме состояний.

2). Ждущее незахваченное (*Idle\_Unlocked*): PP не синхронизирована с какой-нибудь радиочастью RFP и не пытается обнаружить эти RFP. В этом состоянии портативной части PP нет необходимости делать что-нибудь.



Рис. 6.3. Диаграмма состояний портативной части PP

3). **Активное незахваченное (*Active\_Unlocked*)**: когда РР не синхронизирована с какими-либо передачами стационарной радиочасти RFP и не способна устанавливать или получить соединения. Находясь в этом состоянии портативные части РР иногда пробуют обнаружить подходящую радиочасть RFP и вводят состояние ждущей синхронизации *Idle Locked*.

Портативная часть РР может изменять свое состояние между *Idle\_Unlocked* и *Active\_Unlocked* когда это необходимо.

4). **Ждущее захваченное (*Idle\_Locked*)**: когда портативная часть РР синхронизирована, по крайней мере, с одной передачей RFP. Она может устанавливать или получить соединения, но не находится в процессе установления соединений.

5). **Активное захваченное (*Active\_Locked*)**: когда портативная часть РР синхронизирована, по крайней мере, с одной передачей фиксированной части RFP и находится в процессе установления одного или нескольких соединений.

Вход в состояние *Active\_Locked* может быть произведен только из состояния *Idle\_Locked*. Этот переход достигается установлением соединения. Когда РР в состоянии *Active\_Locked* разрывает последнее существующее соединение, она должна возвращаться к состоянию *Idle\_Locked*.

В ждущем захваченном состоянии *Idle\_Locked* существует несколько различных режимов работы портативной части:

а) **режим сканирования (*scanning mode*)**: когда последовательность просмотра приемника (*receiver scan sequence*) носимой части РР синхронизирована с одной фиксированной RFP;

б) **ждущий захваченный режим с высоким рабочим циклом (*High duty cycle Idle\_Locked mode*)**: когда РР производит прием 6 раз за мультикадр, получая все данные, переданные в кадрах 0, 2, 4, 6, 10, и 12 последовательности мультикадров;

с) **нормальный ждущий захваченный режим (*Normal Idle\_Locked mode*)**: когда РР производит прием один раз за мультикадр;

д) **ждущий захваченный режим с низким рабочим циклом (*Low duty cycle Idle\_Locked mode*)**: когда РР производит прием менее одного раза за мультикадр.

### Состояния стационарной радиочасти RFP системы DECT

Стационарная радиочасть RFP может находиться в одном из четырех главных состояний MAC уровня [13], показанных на рис. 6.4:

1) неактивное (*Inactive*): когда RFP не получает и не передает информацию;

2) активное ждущее (*Active\_Idle*) или C/L: когда стационарная часть RFP имеет, по крайней мере, или один холостой однонаправленный канал, или один однонаправленный канал по направлению от RFP к портативной части PP без установления логического соединения, а также приемник, который сканирует физические каналы в известной последовательности;

3) активный трафик (*Active\_Traffic*): когда RFP имеет, по крайней мере, один однонаправленный канал трафика, но не имеет холостого или однонаправленного канала по направлению от RFP к PP без установления логического соединения;

4) активный трафик и холостой (*Active\_Traffic\_and\_Dummy*) или C/L: когда стационарная часть RFP имеет, по крайней мере, один однонаправленный канал трафика, а также поддерживает холостой или однонаправленный канал по направлению от RFP к PP без установления логического соединения.



Рис. 6.4. Диаграмма состояний стационарной радиочасти RFP

### Последовательность просмотра приемника

В каждом слоте приемник стационарной радиочасти RFP является или активным, или сканирующим, или ждущем.

- приемник радиочасти RFP **активен** (*active*), если он производит прием на однонаправленном канале трафика используемом этой RFP;
- приемник **сканирует** (*scanning*), когда он слушает попытки установления однонаправленного канала на физических каналах. Если приемник активен на каком-либо слоте, он не способен слушать в это время на другой РЧ несущей частоте. Следует учитывать, что стационарная радиочасть RFP может иметь более одного приемника. Стандартом DECT устанавливается последовательность сканирования (просмотра) каналов приемниками (*receiver scan sequence*) для стационарной и портативной частей [13];
- **ждущее** (*idling*) состояние не является предпочтительным. В этом состоянии радиочасть RFP не сканирует попытки установления любого (и более одного) однонаправленного канала на физических каналах. Приемники находятся в ждущем состоянии, когда RFP производит передачу.

Все стационарные радиочасти RFP внутри DECT области внутреннего хендвера будут использовать идентичный набор РЧ несущих частот [16].

**Первичное сканирование** (*primary scan*) или **первичный просмотр** определяется как просмотр, который производится, если RFP имеет один или более свободных приемников. Если у RFP имеется более чем один свободный приемник, она поддерживает вторичное и третичное сканирование, которые запаздывают относительно первичного просмотра. Все стационарные радиочасти RFP внутри DECT области внутреннего хендвера будут производить их первичные сканирования на одних РЧ несущих частотах в одно время.

Если различные системы синхронизированы, например через порт синхронизации, рекомендуется, чтобы в произвольное время первичное сканирование в этих системах производилось на различных РЧ несущих частотах.



Порядок сканирования физических каналов стационарными радиочастями RFP должен быть следующим.

При первичном сканировании все доступные РЧ несущие частоты должны быть просмотрены последовательно со скоростью одна несущая частота за TDMA кадр. РЧ несущие частоты должны просматриваться в порядке возрастания номеров несущей частоты. После просмотра самой высокой пронумерованной доступной РЧ несущей частоты, приемник перезапускает первичный просмотр в следующем TDMA кадре на самой низкой пронумерованной доступной несущей. Приемник RFP должен слушать все слоты, в которых может быть принята передача РР на новом однонаправленном канале.

Вторичный просмотр приемника отстает от первичного просмотра приемника на 6 TDMA кадров. Третичный просмотр приемника отстает от первичного просмотра приемника на 3 TDMA кадра.

Портативная часть РР может позволять РР установить подключение без предшествующего пейджинга. Этот процесс называется быстрой установкой (*fast setup*) [13]. Чтобы обеспечивать возможность быстрой установки, последовательность просмотра приемника РР синхронизируется с последовательностью используемой RFP. Приемник RFP прослушивает каждый слот на сканируемом РЧ канале и ищет сообщение запроса однонаправленного канала (*bearer request*), содержащее идентификатор портативной части РМID.

Для поддержания процедуры быстрой установки портативная часть РТ должна упорядочивать последовательность сканирования своего приемника (*PT fast set up receiver scan sequence*) так, чтобы он просматривал ту же самую последовательность каналов, что используется при первичном просмотре в выбранной RFP.

### Точность и стабильность опорного тактового генератора

Носимая часть РР должна иметь стабильность и точность опорного таймера в экстремальных условиях лучше, чем 25 ppm. Опорный таймер, или опорный тактовый генератор (*Reference timer*) RFP или РР — это воображаемый источник опорного сигнала, с которым соотносятся параметры временной синхронизации процесса формирования TDMA кадра (кадрирования).

Стационарная радиочасть RFP, которая может работать более чем с одной дуплексной парой физических каналов в кадре, называется многоканальной RFP (*multi-channel RFP*). Многоканальная RFP должна иметь стабильность и точность опорного таймера лучше, чем 5 ppm и в экстремальных условиях лучше, чем 10 ppm. Одноканальная (*single channel*) RFP может только работать с одной дуплексной парой физических каналов в кадре, за исключением ситуаций хендвера. Одноканальная RFP должна иметь в экстремальных условиях стабильность и точность опорного таймера лучше, чем 10 ppm.

### **Джиттер передачи стационарной радиочасти RFP**

Номинальное время, когда пакет должен поступить на антенну стационарной радиочасти RFP, синхронизировано с опорным тактовым генератором RFP. Джиттер передачи пакета в слоте стационарной радиочасти RFP относится к моменту появления в антенне начала бита  $p_0$  этого пакета. Джиттер определяется относительно опорного таймера данной RFP. Джиттер передачи пакета должен быть меньше  $\pm 1$  мкс при экстремальных условиях. Величина джиттера между битом  $p_0$  и каждым другим битом в пакете должна находиться внутри временного интервала  $\pm 0,1$  мкс, что соответствует 250 ppm.

### **Синхронизация опорного тактового генератора носимой части PP**

Носимая часть PP должна получить параметры синхронизации для своего опорного тактового генератора (*half-slot, full-slot, frame, multi-frame, receiver scan*) по любому каналу от любой стационарной радиочасти RFP, с которой она синхронизируется. Разрешается, но не требуется иметь более одного опорного тактового генератора PP.

Опорный тактовый генератор, используемый для процесса передачи от PP к RFP, должен быть синхронизирован с пакетами, полученными от стационарной радиочасти RFP, или от RFP, к который разрешен хендовер. Этот опорный тактовый генератор для временной синхронизации передачи пакета номинально синхронизирован со временем, когда последний пакет, используемый для синхронизации, поступил на антенну носимой части PP.

Когда РР передает пакет, начало передачи бита  $p_0$  пакета должно происходить в антенне РР при экстремальных условиях с отклонением  $\pm 2$  мкс от номинального времени передачи, задаваемого идеальным опорным тактовым генератором РР с точностью 0 ppm. Джиттер между битом  $p_0$  и любым другим битом в пакете носимой части должен находиться внутри временного интервала  $\pm 0,1$  мкс.

Для достижения системной и межсистемной синхронизации, RFP или РР могут изменять длину одиночного кадра на любую величину или изменять длину последовательных кадров до 2 битов.

### Синхронизация системы

Стационарные радиочасти RFP одной FP синхронизируются по полу-слоту, полному слоту и кадру. Если в системе предоставляется возможность хендовера [13, 14], требуется также синхронизм сканирования приемника (*receiver scan*) и мультикадра. Различие между опорными тактовыми генераторами различных радиочастей RFP одной FP должно быть меньше чем 4 мкс, если между этими RFP происходит хендовер.

Синхронизация кадров в соседних DECT стационарных частях FP возможна при использовании специальных портов синхронизации «DECT Synchronization Port». Для обеспечения передачи синхросигнала между системами или устройствами, которые нужно синхронизировать используется соединительный кабель [12]. При осуществлении процесса синхронизации устройство должно контролировать входной порт внешней синхронизации для обнаружения допустимого входного сигнала синхронизации. Если обнаружен приемлемый сигнал синхронизации, устройство должно восстанавливать этот сигнал на выходном порте синхронизации. Задержка распространения в восстановленном сигнале, между входным и выходным портами синхронизации не должна превышать 200 нс. Сигнал синхронизации должен иметь долговременную стабильность частоты лучше, чем  $\pm 5$  ppm при номинальных условиях или  $\pm 10$  ppm в экстремальных условиях. При развертывании системы следует учитывать зависящие от установки оборудования задержки сигнала синхронизации, возникающие в синхронизируемых устройствах, например в результате задержек распространения сигнала по кабелю. Стандартами DECT ре-

комендовано, чтобы в синхронизируемых (подчиненных) устройствах могла производиться коррекция времени задержки в пределах 0—20 мкс с разрешающей способностью, по крайней мере, 2 мкс [12].

### Межсистемная синхронизация

Межсистемную синхронизацию (*Intersystem synchronization*), т. е. синхронизацию между отдельными стационарными частями FP можно обеспечивать, используя дополнительный порт синхронизации. Базовые радиостанции RFP синхронизированных FP должны иметь уникальный географический идентификатор стационарной части MAC FMID (*Fixed Part MAC Identities*) [16, 27].

### Поле синхронизации S

Каждый формируемый в системе DECT физический пакет содержит поле синхронизации (*synchronization field*) S, и поле данных (*data field*) D.

Поле синхронизации может использоваться приемником для тактовой и пакетной синхронизации радиоканала связи. Первые 16 битов — преамбула (*preamble*), последние 16 битов — слово синхронизации пакета (*packet synchronization word*).

Поле содержит 32 бита, обозначаемых s0—s31, которые передаются в битах p0—p31 используемого пакета. Две разрядных последовательности s0—s31 для портативной и стационарной частей инверсны друг относительно друга.

Стандартом DECT предусмотрено применение факультативного продленного поля преамбулы (*prolonged preamble field*), которое расширяет битовый образец преамбулы 16 битами. Это продленное поле преамбулы может использоваться приемником для реализации алгоритма выбора антенны в случае применения разнесенного приема.

### Синхронизация с помощью системы GPS

Сигнал, переданный спутником системы глобального позиционирования GPS (*Global Positioning System*) содержит информацию о GPS времени, которое связано с Всемирным координированным вре-

менем UTC (*Universal Time Coordinated*), но не равно ему. GPS время должно рассматриваться как стандартное время GPS системы. В отличие от UTC, GPS время не имеет скачков секунд (*leaped seconds*).

GPS время обеспечивает абсолютную привязку по времени. Это делает получаемое от системы GPS время подходящим для синхронизации мультикадра (*multiframe*). В системе возможна генерация сообщений сетевого уровня, для предоставления информации относительно уровня синхронизации, достигнутого между двумя стационарными частями FP.

Системы DECT синхронизируются посредством привязки начала первого кадра мультикадра к GPS времени, как это показано на рис. 6.5.

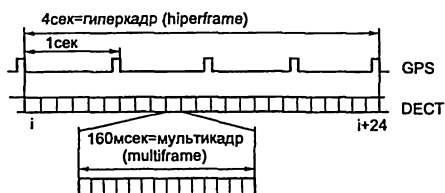


Рис. 6.5. Соотношение между DECT и GPS временной синхронизацией

Так как продолжительность времени мультикадра DECT 160 мс, каждые 4 секунды начало мультикадра DECT совпадает с целым числом GPS секунд. Для удобства в DECT введено понятие гиперкадра (*hiperframe*), который имеет продолжительность 4 секунды и содержит 25 DECT мультикадров.

## 7. Защищенность и безопасность в системе DECT

### Идентификация в DECT

Часть 6 серии из 9 частей стандарта ETS (*European Telecommunication Standard*) определяет структуру идентификаторов и адресации общего интерфейса DECT [16].

Имеются четыре категории идентификаторов, которые можно использовать для идентификации и адресации в DECT:

- идентификатор стационарной части FP (*Fixed Part Identities*);
- идентификатор носимой части PP (*Portable Part Identities*);
- идентификаторы, связанные с подключением (*Connection-related Identities*);
- идентификаторы, связанные с оборудованием (*Equipment-related Identities*).

Каждая стационарная радиочасть FP передает по радио уникальный идентификатор, содержащий глобально уникальный для поставщика услуг идентификатор прав доступа ARI (*Access Rights Identity*). Когда портативной части дается доступ к стационарной системе, ей передается ARI стационарной системы. Данные, которые сохраняет портативная часть при прописке к специфическому беспроводному обслуживанию, называются ключом прав доступа портативного устройства PARK (*Portable Access Rights Key*) и, фактически — это ARI или его часть.

Портативному устройству также сообщается, сколько битов запомненных PARK должны быть проверены во время радиопередачи ARI, чтобы определить, имеет ли портативное устройство права доступа к системе. Устройство может сравнивать PARK с передаваемым системой ARI, чтобы определить, предлагает ли стационарная система обслуживание, к которому портативной части можно обратиться. PP разрешается обращаться к любой RFP, передающей по радио идентификатор ARI, который может быть идентифицирован лю-

бым из ключей PARK этой PP. Если имеется соответствие, по крайней мере, с определенным количеством битов, определенных PARK индикатором длины PLI (*PARK length indicator*), портативное устройство знает, что оно способно получить доступ к системе.

Каждая портативная часть PP имеет ключ прав доступа портативного устройства PARK и международный идентификатор пользователя портативного устройства IPUI (*International Portable User Identity*), использующиеся как пара.

Международный идентификатор IPUI используется, чтобы идентифицировать портативное устройство в области, определенной связанным ARI. IPUI может быть уникален локально или глобально. Структуру идентификации иллюстрирует рис. 7.1.

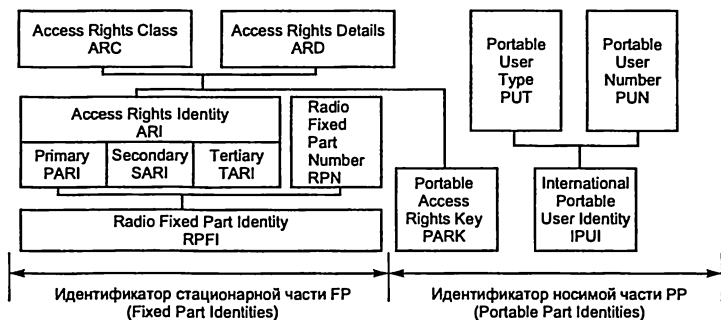


Рис. 7.1. Основная структура идентификации

Общая основа для DECT структуры идентификации — класс прав доступа ARC (*Access Rights Class*) и детали прав доступа ARD (*Access Rights Details*). Они должны быть известны и FP и PP. В FP ARC и ARD называются идентификатором прав доступа ARI (*Access Rights Identity*), в PP они называются ключом прав доступа портативного устройства (*PARK*). Различие между PARK и ARI в том, что каждый PARK может иметь группу распределенных ARD,  $PARK\{y\}$ . Значение параметра «у» — это значение индикатора длины PARK, данного в процессе прописки PP.



Рис. 7.2. Структура ключа PARK {y}

DECT обеспечивает гибкую технологию радиодоступа для большого разнообразия частных и общего пользования сетей или систем. Это приводит к различным требованиям, например, в группировании подсистем, размещению и установке оборудования, распределению идентификаторов и прописке. Поэтому, чтобы удовлетворить потребность в дифференцировании структур идентификаторов, были определены пять классов прав доступа А—Е и ряд идентификаторов IPUI [16].

Структура DECT идентификаторов обеспечивает решения для домашних, общих и частных сред пользования. Она может также быть расширена до комбинаций между этими средами, например, для частных групп пользователей внутри сети общего пользования DECT или, например, для доступа общих пользователей к частным DECT сетям. Основу структуры идентификации составляют ARC и ARD.

Идентификаторы стационарной части FP используются, чтобы сообщить портативным частям PP идентификационную информацию о DECT FP и праве доступа к этой DECT FP. Таким образом уменьшают количество попыток доступа к FP не имеющих прав доступа (*unauthorised portable*) PP. DECT FP передает эту информацию через все стационарные радиочасти FP, по крайней мере раз за мультикадр. PP должна быть способна интерпретировать необходимые части этой радиовещательной информации, чтобы обнаружить права доступа к системе или даже соглашения о праве доступа между системными операторами, в том случае, когда операторы имеют двустороннее соглашение, позволяющее пользователям перемещаться между их системами.

Идентификаторы PP имеют две основных цели: во-первых, позволить PP выбрать допустимую DECT FP и, во-вторых, единственным образом идентифицировать PP внутри этой DECT FP.

## Параметры защищенности

В 7 части «Security features» серии из 9 частей стандарта ETS содержится детализированная спецификация возможностей защищенности (безопасности), которые могут обеспечивать DECT системы [17]. Краткий обзор процессов, требующихся для обеспечения всех



возможностей, рассмотренных в этом стандарте, приведен на рис. 7.3.

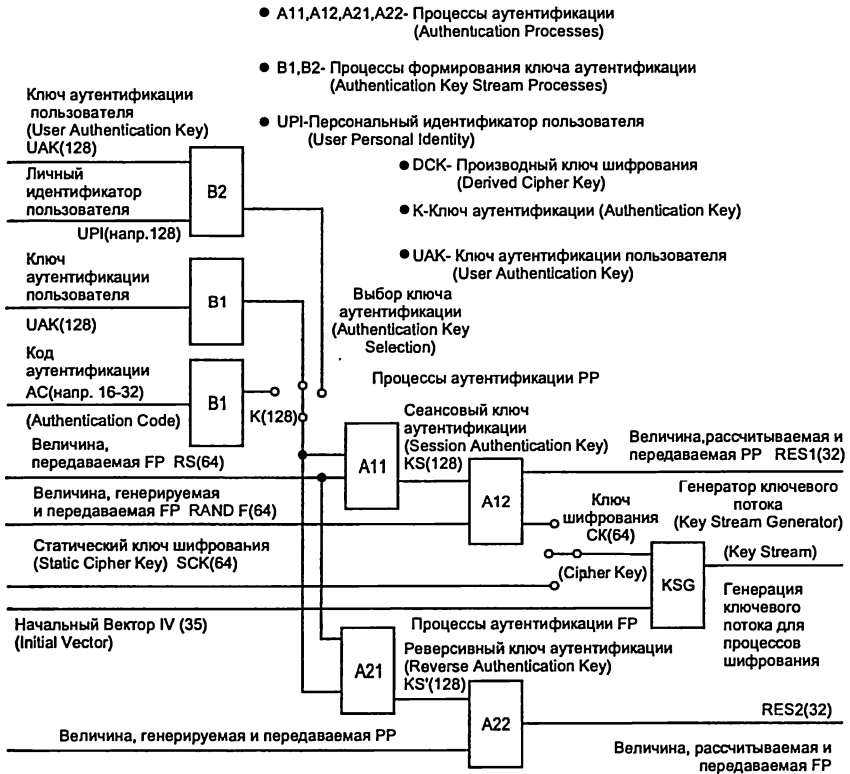


Рис. 7.3. Процессы, относящиеся к защищенности в DECT

Для лучшего понимания заинтересованными читателями процессов безопасности, обеспечиваемых стандартом DECT, ниже приведен ряд основных понятий.

- **ключ шифрования (Cipher Key, CK)** — величина, используемая для определения преобразования открытого текста в зашифрованный по криптографическому алгоритму;
- **стандартный DECT алгоритм аутентификации (DECT Standard Authentication Algorithm, DSAA):** алгоритм, используемый для установления подлинности (аутентификации) в DECT;

- генератор ключевого потока (*Key Stream Generator, KSG*) — криптографический алгоритм, производящий поток двоичных цифр, которые могут использоваться для шифрования и дешифрования;
- сеансовый ключ (*Session Key, KS*) — ключ, который используется только для одиночного сеанса. Сеансом может быть одиночное соединение или связь, или это может быть ряд вызовов (связей), сделанных специфическим пользователем через специфическую систему, например связи, сделанные передвигающимся роумером в частной посещаемой сети (*visited network*);
- стандартный DECT шифр (*DECT Standard Cipher, DSC*) — алгоритм, используемый для шифрования данных в DECT;
- личный идентификатор, личный идентификационный номер (*Personal Identity Number, PIN*) — короткая последовательность чисел (обычно 4—8 цифр) которая может использоваться в процессе аутентификации, чтобы доказать идентичность. Также может использоваться термин «личный идентификатор пользователя» UPI (*User Personal Identity*);
- ключ аутентификации пользователя (*User Authentication Key, UAK*) — криптографический ключ, которым владеет пользователь, используемый для установления идентичности. Может также быть объединен с личным идентификатором PIN.

## Функции защищенности

В системах DECT обеспечиваются пять видов защищенности (*Security services*):

- установление подлинности, аутентификация портативной части РТ (*Authentication of a PT*) — это инициализируемая стационарной частью FT процедура, позволяющая FT произвести установление подлинности (аутентификацию) портативной части РТ, делающей или получающей через нее вызов;
- аутентификация стационарной части FT (*Authentication of an FT*) — это инициализируемая портативной частью РТ процедура, позволяющая РТ произвести установление подлинно-

сти (аутентификацию) стационарной части FT, через которую она делает или получает вызов;

Эти процедуры аутентификации производятся в начале связи. Они могут повторно вызываться в любое время в течение связи. Установление подлинности РТ и FT — это сервис сетевого уровня NWK.

- **взаимное установление подлинности (*Mutual authentication*)** — процедура, позволяющая РТ и FT, через которые установлена связь, аутентифицировать друг друга;
- **конфиденциальность данных (*Data confidentiality*)** — это функция обеспечивает конфиденциальность данных пользователя и некоторых данных управления, передаваемых между РТ и FT. Конфиденциальность данных запрашивается в сетевом уровне NWK, хотя сервис обеспечивается уровнем MAC. Услуга обеспечивается только в общем интерфейсе CI. Она не обеспечивает любую криптографическую защиту данных, передаваемых через стационарные сети;
- **установление подлинности пользователя (*User authentication*)** позволяет стационарной части FT опознавать пользователя РТ, проверяя значение персонального идентификатора пользователя UPI (*User Personal Identity*), связанного с этим пользователем. Это обслуживание подобно интерактивной проверке личного идентификатора PIN (*Personal Identification Number*), производимой банковскими системами. Процедура установления подлинности пользователя инициализируется FT и производится в начале связи. Она может повторно вызываться в любое время в течение связи.

## Аутентификация портативной части РТ

Для обеспечения данной функции используется криптографический механизм «вызов-ответ» (*challenge-response mechanism*). Стационарная часть FT передает вызов для портативной части РТ, которая отвечает, возвращая результат вычисления, выполненного с использованием ключа аутентификации (*authentication key*), связанного с портативной частью РТ, и вызова. Стационарная часть FT сравнивает ответ РТ со значением, которое она ожидала получить, и считает

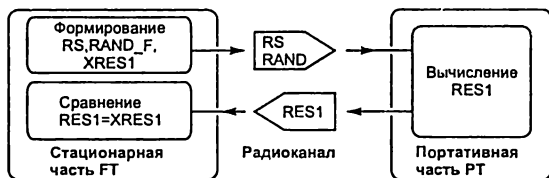


Рис. 7.4. Аутентификация портативной части PT

установление подлинности успешным, если эти два значения совпадают. Таким образом, портативная часть PT аутентифицируется, если она продемонстрирует знание ключа аутентификации, связанного с ней. Обмен, происходящий при аутентификации, иллюстрируется рисунками 7.4 и 7.5 и происходит следующим образом:

1). Стационарная часть FT формирует значение параметра **RS** длиной 64 бита, значение случайного запроса **RAND\_F** длиной 64 бита, и значение **XRES1** длиной 32 бита. Значение **XRES1** — ожидаемый результат вычисления, производимого с **RS**, **RAND\_F** и ключом аутентификации **K**, связанным с PT.

Вычисление выполняется в два этапа, используя процессы аутентификации **A11** и **A12**. На первом этапе для получения значений **KS** от **RS** и **K** используется процесс **A11**. Второй этап использует **A12**, чтобы произвести **XRES1** от **RAND\_F** и **KS**. Эти два вычисления могут выполняться различными объектами внутри стационарной сети и, если значение **RS** не изменено, вычисление **KS** не должно повторено для каждого случая аутентификации. Все значения могут быть вычислены перед случаем установления подлинности.

FT посылает значения **RS** и **RAND\_F** портативной части PT;

2). По получении **RS** и **RAND\_F**, PT использует процесс аутентификации **A11**, чтобы вычислить **KS** от **RS** и ключ аутентификации **K**, и затем использует процесс аутентификации **A12**, чтобы вычислить **RES1** от **KS** и **RAND\_F**. Затем PT посылает **RES1** стационарной части FT;

3). По получении **RES1**, FT сравнивает это значение с **XRES1**. Если два значения идентичны, FT принимает подлинность портативной части PT.

Протекающий аналогично процесс аутентификации стационарной части иллюстрирует рис. 7.5.

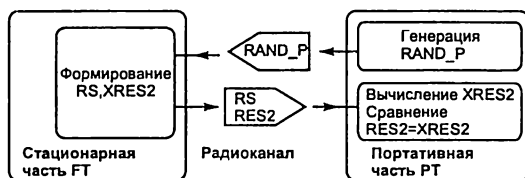


Рис. 7.5. Аутентификация FT

## Конфиденциальность данных

Чтобы обеспечивать функцию конфиденциальности данных и портативная PT и стационарная часть FT должны совместно использовать ключ шифрования СК (*Cipher Key*). Этот ключ затем используется вместе с генератором ключевого потока KSG (*Key Stream Generator*), чтобы формировать ключевой поток для зашифрованных данных в уровне MAC. Процесс генерации ключевого потока и детализированное описание процесса шифрования выполняется в MAC уровне приводятся в [17]. Стандартом DECT устанавливаются два пути получения ключа шифрования СК, приводящие, таким образом, к формированию ключей двух типов:

- производный (получаемый) ключ шифрования DCK (*Derived Cipher Key*);
- статический ключ шифрования SCK (*Static Cipher Key*).

Вычисление производного, получаемого ключа шифрования DCK происходит в PT как часть процедуры аутентификации портативной части PT. FT получает DCK как часть процедуры получения значений RS, RAND\_F и XRES1. DCK должен быть доступным для соответствующей стационарной радиочасти FT.

Таким образом, чтобы получить ключ шифрования, необходимо сначала обязательно произвести аутентификацию портативной части PT. Однако, в некоторых приложениях может возникать потребность в обеспечении конфиденциальности без необходимости сперва применить аутентификацию. В этом случае стороны могут использовать ключ шифрования, который был установлен другими способами. Такой ключ называется статическим ключом шифрования SCK.

## 8. Архитектура приемопередатчиков мобильной связи

### РЧ блок приемопередатчика

За несколько последних лет в системах связи произошел переход от аналоговых схем модуляции к цифровым. Использование цифровой модуляции по сравнению с аналоговой обеспечивает большую информационную емкость системы, лучшую защиту информации и качество связи. Постоянно изменяющаяся ситуация в мире подвижной связи требует от производителей интегральных схем, используемых в устройствах связи, разработки новых ИС с улучшенными РЧ параметрами, уменьшенной стоимостью, энергопотреблением и размерами. Это заставляет разрабатывать для приемопередатчиков интегральные схемы с использованием более высокой степени интеграции. Достижение максимальной интеграции узлов и элементов РЧ блока приемопередатчика не является тривиальной задачей простого постепенного перемещения внешних компонентов внутрь корпуса ИС. Этот процесс требует полной перестройки функционально законченного проекта, что привело к появлению новых разновидностей архитектуры РЧ блоков с меньшим количеством навесных компонентов.

Как правило, структуры приемопередатчиков стационарных и носимых частей в системе DECT одинаковы и отличаются лишь некоторыми деталями, о которых будет более подробно рассказано ниже.

В приемопередающем устройстве можно выделить четыре основных тракта, показанные на рис. 8.1:

- тракт приема (*Receiver Section*);
- тракт передачи (*Transmitter Section*);
- тракт синтеза частот (*Synthesizer Section*), в котором формируются опорные частоты, необходимые для преобразования частот в приемопередатчике, его перестройки по рабочим каналам;

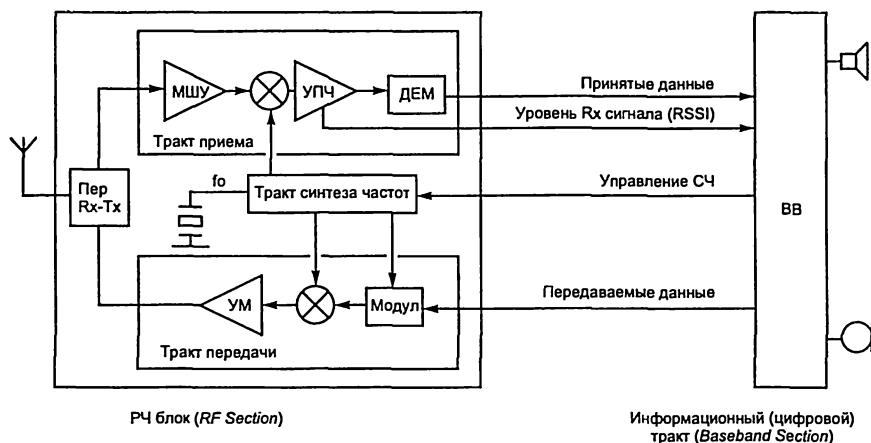


Рис. 8.1. Основные тракты РЧ блока

- цифровой тракт (тракт основной полосы) или информационный тракт (*Baseband Section*), в котором осуществляются низкочастотные операции, связанные с обработкой передаваемой информации перед подачей ее на модулятор и принимаемой информации после ее демодуляции. Здесь же происходят вспомогательные операции, обеспечивающие функционирование устройства и системы в целом.

Тракты приема, передачи и синтеза частот могут быть объединены в радиочастотный блок (*RF Section*), в котором происходят операции преобразования, фильтрации и усиления сигналов на несущих и промежуточных частотах. Более подробно взаимодействие РЧ и информационного блоков будет рассмотрено далее.

При приеме сигнал с входа антенны поступает на вход приемника через переключатель или циркулятор и полосовой диапазонный фильтр (*Roofing Filter*). Стандартная величина чувствительности приемника системы DECT составляет  $-83$  дБм. Входной сигнал усиливается маломощным усилителем МШУ (*Low-Noise Amplifier, LNA*) в тракте приема и преобразуется вниз на фиксированную промежуточную частоту в смесителе (*Down-Convert Mixer*). Изменение используемого частотного канала происходит посредством изменения номинала опорной частоты, подаваемой на смеситель от системы синтеза частот. Сигнал, пропорциональный уровню принимаемого

сигнала, вырабатывается в каскаде ПЧ, и соответствующий сигнал оценки уровня принимаемого сигнала RSSI оцифровывается с помощью АЦП в контроллере пакетов или микропроцессоре. Далее принятые данные демодулируются и передаются в информационный тракт для дальнейшей обработки.

В тракте передачи данные пользователя формируются фильтром низких частот в процессоре информационного тракта (*Baseband Processor*). Эти сформированные сигналы данных затем преобразуются в модулированный сигнал. В устройствах DECT модуляция осуществляется обычно изменением частоты генератора, управляемого напряжением ГУН (*Voltage Controlled Oscillator, VCO*). Как правило, далее следует смеситель для преобразования сигнала вверх по частоте (*Up-Converting Mixer*). РЧ сигнал усиливается до необходимого выходного уровня усилителем мощности (*Power Amplifier, PA*) и подается на антенну через полосовой диапазонный фильтр (*Roofing Filter*), переключатель или циркулятор. Функционально законченный РЧ блок (*Radio Frequency Front End*) формирует эфирный интерфейс (*air interface*) для осуществления радиосвязи в системе.

Тракты приема и передачи должны быть подключены к одной антенне и при этом отделены друг от друга. В системах с временным дуплексированием TDD частоты приема и передачи одинаковы, поэтому стандартным устройством подключения приемопередатчика к антенне является переключатель, называемый «переключателем прием-передача» (*Transmit-Receive Switch, Tx/Rx Switch*). Когда устройство получает данные, переключатель подключает к антенне МШУ, когда устройство передает данные, переключатель подключает УМ. Переключатель «прием-передача» должен уменьшить потери сигнала (*Insertion Loss*) и обеспечить хорошую развязку (*Isolation*) вход-выход для того, чтобы передаваемый сигнал не просочился в приемный тракт. Некоторые приемные устройства базовых станций используют две (сдвоенные) антенны (*Dual Antennas*), чтобы предотвратить потерю сигнала вследствие замираний. Такие антенны, имеющие зачастую различные диаграммы направленности, подключаются к приемопередатчику через переключатель, называемый переключателем разнесенных антенн (*Diversity Switch*).

Несмотря на то, что ряд наборов микросхем выполняют функции информационного тракта и модуляции для сотовых и беспроводных



стандартов носимого устройства с высокой степенью интеграции, функционально законченных ИС радиоблока приемника (*Receiver front-end*) разработано пока не так много. Проектировщики используют различные ИС с различными технологиями, чтобы обработать и преобразовать ВЧ сигнал антенны в сигнал ПЧ. В диапазоне 1800 МГц предлагаемые для использования полупроводниковые приборы и ИС выполняются на основе кремниевых технологий и на основе арсенида галлия GaAs. GaAs полупроводниковые приборы имеют более высокие коэффициенты усиления, и могут работать при более низких напряжениях питания, чем кремниевые. Кроме того, на высоких частотах GaAs полупроводниковые приборы могут достигать более высокой эффективности, чем кремниевые.

Носимые устройства систем DECT используют питание от батарей или аккумуляторов. В настоящее время наиболее распространенной величиной напряжения питания является 5 В, но в новом поколении устройств происходит переход к питающему напряжению 3 В и даже 1,5 В, так как *уменьшение величины потребляемого устройством тока влияет на увеличение времени работы устройств от комплекта питания без подзарядки*. Для портативных устройств желательным временем работы без подзарядки является величина 35 часов. Это дает возможность пользоваться устройством в течение двух дней, если владелец в конце первого рабочего дня забудет поставить его на подзарядку. Антенны носимых устройств должны быть легкими, прочными и привлекательными на вид.

Абонентские устройства DECT — сложные устройства, объединяющие ВЧ технологию диапазона 1,9 ГГц с достаточно мощным вычислительным узлом. Носимые устройства DECT первого поколения содержали более 300 компонентов, но увеличивающаяся степень интеграции позволила на сегодня уменьшить общее количество компонентов более чем в три раза, что дает возможность сделать их компактными и легкими. Так как пользователей больше интересуют функциональные возможности устройства, чем его технические особенности, базовая станция и носимое устройство должны быть сравнимы по стоимости с проводными вариантами, легко интегрироваться в проводную инфраструктуру.

Как правило, базовые станции систем, использующих технологию DECT, имеют ту же структуру, что и портативные устройства. В

базовых станциях используются более совершенные контроллеры, специализированные ИС сопряжения с телефонными сетями. Для обеспечения одновременной работы с несколькими мобильными устройствами может возникнуть необходимость применения более быстродействующих а, следовательно, и более дорогих синтезаторов частоты.

### **Архитектура, частотный и энергетический планы РЧ блоков**

РЧ блок современного приемопередатчика и его основные узлы являются типовыми хорошо схемотехнически отработанными устройствами. Поэтому важным этапом проектирования является выбор оптимального частотного плана приемопередатчика в целом, выбор набора элементов фильтрации, подбор подходящего комплекта интегральных схем. Чтобы совместно использовать узлы РЧ блока и уменьшить потребляемую мощность, проектирование трактов передачи и приема должно происходить одновременно. При надлежащем частотном планировании (*frequency planning*), разработка передатчика и приемника может быть оптимизирована, что позволяет улучшать электрические и уменьшить массогабаритные характеристики устройства.

Выбор наиболее оптимальной архитектуры позволяет добиться:

- уменьшения энергопотребления;
- уменьшения массогабаритных показателей;
- уменьшения внеполосных излучений устройства.

Проектирование и оптимизация РЧ блоков приемопередатчиков ССПО производится в несколько этапов.

#### **1. Изучение и анализ стандарта на систему подвижной связи, основных нормативных документов**

Любая ССПО описывается рядом нормативных документов, разрабатываемых и утверждаемых международными, национальными организациями, специализированными институтами или отдельными компаниями. Как правило, ряд нормативных документов можно найти на интернет-сайтах этих организаций.

Наиболее известными организациями являются Европейский институт стандартов в связи ETSI ([www.etsi.org](http://www.etsi.org)), Ассоциация промыш-

ленности связи США TIA ([www.tiaonline.org](http://www.tiaonline.org)), в Японии — Ассоциация радиопромышленности и бизнеса ARIB ([www.tl.org](http://www.tl.org)). Стандарты на системы связи третьего поколения разрабатываются и продвигаются UMTS Форумом ([www.umts-forum.org](http://www.umts-forum.org)) и организацией 3GPP ([www.3gpp.org](http://www.3gpp.org)).

## 2. Получение энергетического плана РЧ блока

Энергетический план устройства — это его укрупненная структура с приведением основных уровней сигнала на его входах и выходах, пределов, шага и точности изменения их величин. В том случае, если для функционирования приемопередатчика необходимо измерение уровней сигналов в устройстве, целесообразно указать точность, с которой должны быть произведены эти измерения. При дискретизации (аналого-цифровом преобразовании) измеряемых значений приводится количество уровней дискретизации и шаг дискретизации. Как правило, энергетический план полностью описывает требования, приведенные в стандарте на ССПО.

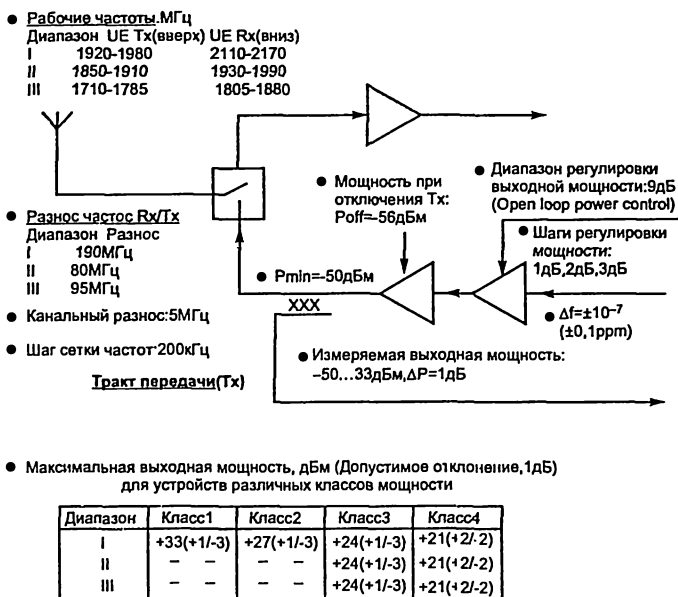


Рис. 8.2. Основные параметры тракта передачи абонентского устройства третьего поколения

В качестве примера на рис. 8.2 приведен энергетический план РЧ блока абонентского устройства (UE) третьего поколения, на котором показаны основные параметры для тракта передачи в режиме FDD [стандарт 3GPP TS 25.101, V5.1.0].

### 3. Выбор архитектуры РЧ блока

Термин «архитектура» (*Architecture*) в настоящее время очень широко используется в современной специальной англоязычной литературе. Архитектура РЧ устройства определяет основные принципы преобразования сигнала в нем. Примером определенной архитектуры могут служить, например, РЧ тракт (приема или передачи) с прямым преобразованием сигнала, передатчик с петлей трансляции сигнала и т. д. Разновидности архитектуры трактов приема и передачи рассмотрены далее.

### 4. Формирование частотного плана

Частотный план приемопередатчика — это его предельно упрощенная структурная схема, на которой обязательно показаны устройства генерирования и преобразования сигналов — смесители, генераторы, модуляторы. На плане приводятся номиналы генерируемых и преобразуемых частот и, при необходимости, размещаются устройства фильтрации.

Частотный план необходимо формировать с учетом ряда факторов:

- требований стандарта — полосы рабочих частот на входе приемника и выходе передатчика; номиналов канальных частот, вида модуляции и т.п.;
- требований к подавлению внеполосных излучений на выходе передатчика, определяемых стандартом;
- требований к подавлению сигналов на частотах внеполосного приема;
- наличия синтезаторов частот, обладающих необходимыми параметрами ( $f_{min}...f_{max}$ ; шаг сетки частот  $\Delta f$ ; время установления частоты  $t_{уст}$ );
- сложившейся практики построения структур приемопередатчиков: наличия промышленных фильтров, прежде всего ПЧ, на

необходимые частоты, отдельных функциональных узлов, работающих на определенных частотах и т. д.

В качестве примера на рис. 8.3 приведен частотный план РЧ блока приемопередатчика DECT. Более подробное описание такого РЧ блока DECT и его структурная схема приведены далее в разделе «Прямая модуляция с удвоением частоты».

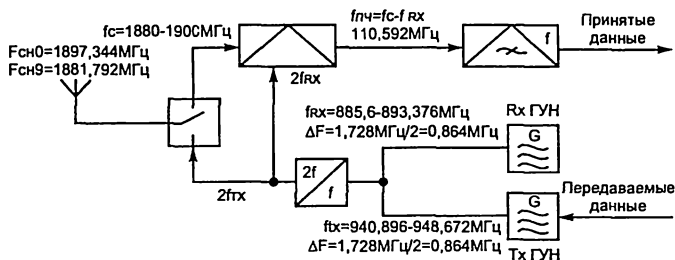


Рис. 8.3. Пример частотного плана РЧ блока приемопередатчика DECT

### 5. Формирование структурной схемы приемопередатчика

После составления частотного плана устройства переходят к разработке эскизного варианта структурной схемы приемопередатчика. По сути дела, на этом этапе проектирования в рамках ранее полученного частотного плана происходит конкретизация энергетического плана устройства, т. е. определяется общее число каскадов усиления, типы и количество транзисторов в узлах, выбираются питающие напряжения. На эскизе структурной схемы приводятся все каскады с указанием предполагаемых коэффициентов усиления (передачи), уровней сигналов, указанием типов каскадов (ОК, ОБ) и выделением при необходимости отдельных элементов схемы (транзисторов, диодов). Для делителей частоты синтезаторов частот необходимо найти значения коэффициентов деления требующиеся при настройке на конкретные рабочие каналы, определить необходимую крутизну перестройки ГУН. На данном этапе проектирования целесообразно произвести максимально возможную детализацию устройства с учетом предполагаемых вариантов схемотехнической реализации и конкретных наборов ИС и, таким образом, перейти к его функциональной схеме.

### 6. Разработка принципиальной электрической схемы

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

#### Квадратурная обработка сигнала

Очень эффективным способом преобразования сигналов в функциональных узлах РЧ блока является их обработка в квадратурных каналах, что эквивалентно представлению сигнала в комплексной форме. В квадратурных узлах **преобразования сигнала по частоте** обработка происходит без образования нежелательных паразитных суммарных или разностных компонентов на выходе устройств. В квадратурных узлах преобразования сигнала **на нулевую частоту** на выходе устройства формируется сигнал с комплексной огибающей, содержащий информацию об амплитуде и фазе исходного модулирующего сигнала. В результате квадратурного преобразования сигнала вниз по частоте в тракте приема формируются непосредственно синфазный I (*In-phase*) и квадратурный Q (*Quadrature*) сигналы, которые могут использоваться для дальнейшей обработки в информационном тракте.

Для большинства видов фазовой и частотной модуляции в квадратурных каналах приемного тракта необходимо осуществлять фазовый сдвиг на 90 градусов в тракте гетеродина или сигнала (рис. 8.4).

Поскольку сдвиг по фазе РЧ сигнала может привести к увеличению уровня шума, желательно формировать сдвиг в тракте сигнала

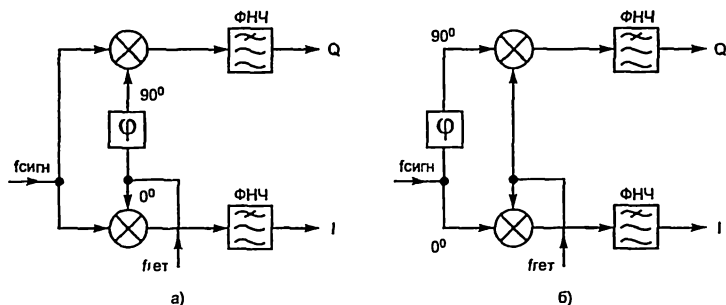


Рис. 8.4. Квадратурный сдвиг в тракте гетеродина (а) и сигнала (б)

гетеродина (рис. 8.4, а). В любом случае, ошибки в точности сдвига фаз по каналам и несоответствие амплитуд сигналов I и Q (*I/Q Mismatch*) нарушают при преобразовании вниз канонический вид принимаемого сигнального созвездия (*signal constellation*), тем самым увеличивая коэффициент битовых ошибок. В конечном итоге все элементы схемы в I и Q каналах могут вносить вклад в погрешность амплитуды (коэффициента усиления) и фазы.

Все более широкое распространение в таких структурах получают устройства активного подавления нежелательных (зеркальных) компонент (*Image Rejecting*), в частности — смесители с квадратурными каналами. Использование таких смесителей позволяет решить классическую проблему фильтрации — подавление нежелательных компонент без использования на выходах смесителя громоздких фильтров, о чем более подробно будет рассказано далее.

За удобство обработки сигнала приходится платить усложнением аппаратурной реализации узлов, так как в РЧ блоке происходит увеличение каналов обработки вдвое — появляются отдельные каналы для I и Q сигналов. Кроме того, эти каналы должны обладать высокой идентичностью амплитудных и фазовых характеристик в диапазоне рабочих частот.

### **Формирование опорных сигналов квадратурных каналов**

Как правило, для получения опорных сигналов квадратурных каналов в качестве фазовращающего узла используется делитель частоты на два. Этот метод формирования опорных сигналов получил широкое распространение, так как он наиболее прост, работает в широком диапазоне изменения частот.

Следует отметить, что такой метод формирования квадратурных опорных сигналов в настоящее время затруднен для применения в приемопередатчиках с прямым преобразованием частоты, так как квадратурная обработка сигнала (модуляция и демодуляция) происходит в них непосредственно на несущей частоте. Опорная РЧ частота, формируемая синтезатором частоты, перед подачей на делитель частоты должна для устройств диапазона ISM 2,4 ГГц, стандарта UMTS иметь значение около 4,8 МГц. СЧ, предназначенные для использования в РЧ блоках носимых абонентских устройств, с такими

номиналами выходных частот в настоящее время достаточно дороги и не всегда обладают приемлемыми характеристиками.

Формирование квадратурных опорных сигналов в этом случае может быть произведено с использованием пассивных фазовращающих RC цепей. Данный способ широко используется в различных РЧ ИС в каналах с квадратурной обработкой сигналов на частотах, больших 1,5 ГГц. Проблемой при этом является неравномерность канальных фазовых сдвигов в диапазоне рабочих частот. Однако, например компания Philips Semiconductors уже ряд лет использует этот способ в РЧ блоках (*Image Rejecting Front-Ends*), функционирующих на частотах 1,8—2,0 ГГц. Для формирования квадратурных опорных сигналов гетеродина используются две пассивных фазосдвигающих цепочки такого типа. Одна из цепочек устанавливает фазовый сдвиг, равный  $45^\circ$ , другая —  $135^\circ$ , и происходит работа в зоне их линейности. Путем моделирования фазовые сдвиги в цепи гетеродина выбираются так, чтобы в необходимом диапазоне изменения частот гетеродина могли быть получены точные квадратурные сдвиги фазы [105]. В прямом квадратурном модуляторе (*Direct IQ Modulator*) MAX2720/MAX2721 компании Maxim, предназначенном для использования в диапазоне 1,7—2,5 ГГц, разбаланс фаз (*Phase Imbalance*) в квадратурных каналах составляет  $\pm 1,0$  градус [106].

### Смесители с подавлением зеркального канала

Один из путей подавления сигнала зеркальной частоты при преобразованиях сигнала состоит в том, чтобы использовать метод фазового подавления (*phase cancellation*) вместо традиционного частотноизбирательного подавления с помощью достаточно дорогих фильтров, имеющих и большие габариты. В этом случае при преобразовании сигнала используется смеситель с подавлением зеркального канала СПЗК (*Image Reject Mixer*) [96]. ИС, использующие данный метод и предназначенные специально для применения в устройствах ССПО, выпускает ряд фирм.

Такие функциональные узлы подавления нежелательных компонент обеспечивают тригонометрическое решение трудной проблемы фильтрации. На рис. 8.5 приведена архитектура Хартли (Hartley), предложенная еще в 1928 г. В ней используется два смесителя, на ко-



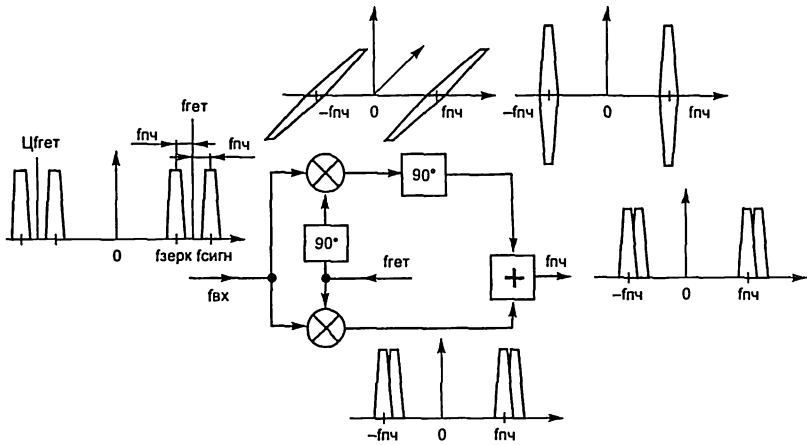


Рис. 8.5. Архитектура Хартли с подавлением зеркального канала

которые подаются квадратурные сигналы гетеродина. Сигнал ПЧ разделяется на синфазную (I) и квадратурные (Q) компоненты. Перед объединением в сумматоре сигнальные компоненты этих двух трактов сдвигаются относительно друг друга на  $90^\circ$ . Зеркальный и желательный сигналы имеют отрицательную и положительную расстройку от частоты гетеродина соответственно. Сигналы желательного и зеркального каналов преобразуются по частоте в двух смесителях, управляемых квадратурными фазами гетеродина. Сигналы с выходов смесителей затем сдвигаются по фазе на  $90^\circ$  относительно друг друга. Суммируя эти два сигнала можно выбрать желательный и подавить зеркальный сигнал, в то время как, напротив, при получении разности будет выбираться зеркальный сигнал. Это связано с тем, что сигналы желательного канала на вход сумматора после преобразований подаются с одинаковой фазой, в то время как сигналы зеркального канала — в противофазе. В результате при сложении полученные противофазные напряжения взаимно компенсируются, и сигнал зеркального канала подавляется.

Другая разновидность архитектуры Хартли известна еще как приемник с подавлением зеркального канала Вейвера (Weaver). Результат достигается путем сдвига фаз сигнала в одном канале на  $90^\circ$  при помощи второго гетеродина, как это показано на рис. 8.6.

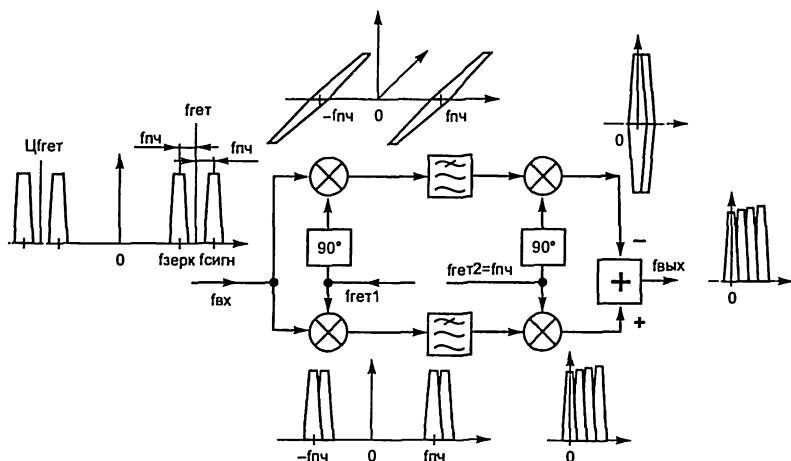


Рис. 8.6. Архитектура Вейвера с подавлением зеркального канала

Однако следует помнить, что эффективность функционирования таких смесителей зависит в основном от идентичности квадратурных I/Q каналов, то есть разбаланса коэффициента передачи и фазы в квадратурных каналах. Степень подавления зеркального сигнала зависит от идентичности амплитуд сигналов в двух квадратурных каналах и точности установки фаз фазовращателей. По этим причинам, эта концепция стала практически реализованной только после достаточного развития технологии ИС, когда два канала преобразования РЧ сигналов хорошо согласованы внутри корпуса и одинаково ведут себя при температурных изменениях. Реальное подавление зеркального сигнала в микросхеме ограничено уровнем приблизительно 40—45 дБ из-за остаточного несоответствия коэффициентов усиления в квадратурных каналах.

Специально для использования в устройствах DECT фирма Philips разработала устройство подавления зеркального канала (*Image Rejecting Front-End*) тракта приема UAA2077AM, и приемопередатчик с подавлением зеркального канала (*Image Reject Transceiver*) UAA2067G, упрощенная структурная схема которого приведена на рис. 8.7. Для выбора подавляемой составляющей в выходном сигнале используется вывод SBS (*SideBand Selection*).

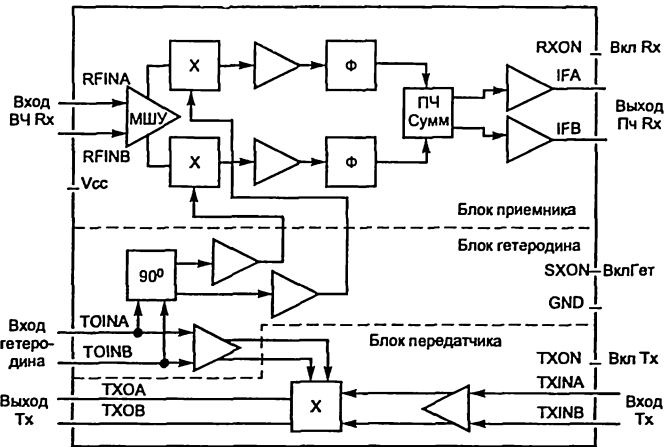


Рис. 8.7. Структура ИС приемопередатчика UAA2067G

## Архитектура тракта приема

Применение интегральных схем существенно уменьшило размер, стоимость и потребляемую мощность приемников. В последнее время в РЧ блоках начали использовать приемники с различной архитектурой, имеющие как достоинства, так и недостатки.

Различными производителями предлагается достаточно большое количество наборов ИС различной степенью интеграции для РЧ блока, но производимый выбор влияет на конфигурацию приемопередатчика и стоимость изделия. Если выбираются РЧ микросхемы с высокой степенью интеграции, то, как правило, приходится обязательно использовать только те ИС информационного тракта, которые предназначены для работы с этими РЧ ИС.

## Супергетеродинные приемники

В приемном тракте устройств DECT достаточно часто используется архитектура с одним (*Single-Conversion*) или двойным преобразованием (*Double-Conversion*) частоты. В обеих схемах изменение используемого частотного канала производится с помощью перестраиваемого по частоте гетеродина РЧ ГУН, сигнал которого пода-

ется на первый смеситель, чтобы трансформировать полезный сигнал вниз по частоте. Сигнал гетеродина вырабатывается генератором, управляемым напряжением, ГУН частота которого стабилизируется с помощью синтезатора частоты СЧ.

### Тракт приема с двойным преобразованием частоты

На рис. 8.8 показана классическая архитектура супергетеродинного приемника с двойным преобразованием частоты.

Полосовой ВЧ фильтр (*Band Select Filter*) ПФ1, предшествующий малошумящему усилителю МШУ (*low noise amplifier*) уменьшает внеполосные сигналы, а также уровень помех по зеркальному каналу совместно с фильтром ПФ2 (*image reject filter*). Затем весь спектр преобразуется вниз по частоте на фиксированную промежуточную частоту (*Intermediate Frequency, IF*) с использованием перестраиваемого гетеродина РЧ ГУН. Зеркальный сигнал и другие нежелательные продукты преобразования уменьшаются далее до приемлемого уровня, с помощью внешнего фильтра ФПЧ1 перед еще одним преобразованием вниз по частоте. Выбор рабочего канала обычно осуществляется, фильтром ПЧ2 (*Channel Select Filter*) после окончательного преобразования вниз. Это ослабляет требования к динамическому диапазону следующих блоков. От правильного выбора значения промежуточных частот зависят получаемые величины селективности и чувствительности приемника. Второе преобразование вниз по частоте в современных трактах приема обычно происходит в квадратурных схемах, чтобы облегчить цифровую обработку синфазных и квадратурного сигналов I и Q.

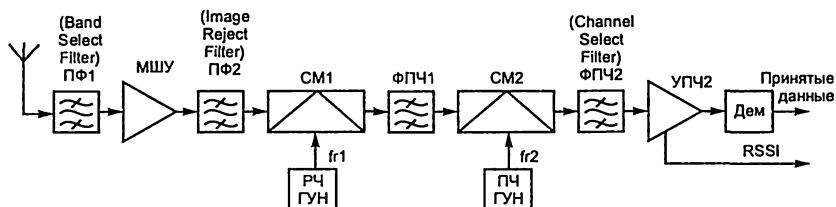


Рис. 8.8. Архитектура тракта приема с двойным преобразованием частоты

В приемнике с двойным преобразованием частоты существенно снижаются требования к элементам фильтрации. Супергетеродинная архитектура приемного тракта считается наиболее надежной, так как в ней высокие значения селективности и чувствительности могут быть достигнуты надлежащим выбором значений ПЧ и параметров фильтров. Эффекты смещения постоянной составляющей (*DC offset*) и утечки (*leakage*), более подробно рассмотренные далее, не влияют на характеристики приемника из-за использования нескольких шагов преобразования.

Однако, достижение высоких значений параметров и характеристик приемника приводит к увеличению стоимости устройства и его размеров. Это происходит за счет применения внешних высокочастотных полосовых фильтров, необходимых для подавления зеркального канала и выбора рабочего канала. Так как выбор рабочего канала происходит в первом каскаде ПЧ, перестраиваемый гетеродин требует качественного выполнения и использования внешнего колебательного контура для достижения хорошей характеристики по шумам. Указанные факторы затрудняют полную интеграцию приемопередатчика в единственной микросхеме.

Особенности супергетеродинных структур	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Использование пассивной фильтрации позволяет реализовать устройства с большим динамическим диапазоном.</li> <li>• Номиналы ПЧ и РЧ частот значительно отличаются, фильтрация и усиление производится в нескольких каскадах последовательно. Это позволяет реализовать в тракте приема устойчивые высокие коэффициенты усиления, минимизировать паразитные обратные связи, уменьшить утечки сигналов гетеродинов.</li> </ul>
	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Необходимость использования внешних элементов фильтрации препятствует комплексной интеграции всего РЧ блока и выполнение его в виде одной ИС.</li> <li>• Наличие на выходе смесителей нежелательных комбинационных составляющих. Появление паразитных каналов приема.</li> <li>• Устройство получается относительно дорогим.</li> </ul>

Для работы в приемных устройствах с двойным преобразованием частоты рядом фирм, среди которых следует в первую очередь упомянуть фирму Motorola, выпускаются ИС малой степени интеграции.

Осуществление преобразования частоты в двух ступенях позволяет распределить коэффициент усиления между каскадами ПЧ, что уменьшает вероятность ограничения сигнала и улучшает стабильность работы приемопередатчика. На рис. 8.9 показана типовая структура приемопередатчика с двойным преобразованием частоты в приемнике, используемая в РЧ блоках DECT.

В качестве примера ИС, предназначенных для использования в приемных устройствах такой архитектуры, можно назвать комплект ИС AD6400 фирмы Analog Devices [45, 46]. Укрупненная структура приемопередатчика, выполненного с использованием этого комплекта, приведена на рис. 8.10.

ИС тракта ПЧ AD602 содержит смеситель тракта приема, УПЧ, демодулятор на основе петли ФАПЧ и ГУН. Второй гетеродин ГУН2, находящийся в подсистеме ПЧ приемопередатчика, служит для преобразования сигнала на вторую ПЧ, типовые значения которой лежат в диапазоне от 10 до 20 МГц.

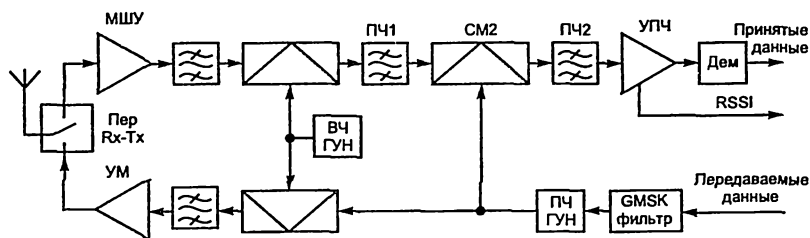


Рис. 8.9. Архитектура приемопередатчика с двойным преобразованием частоты в приемнике

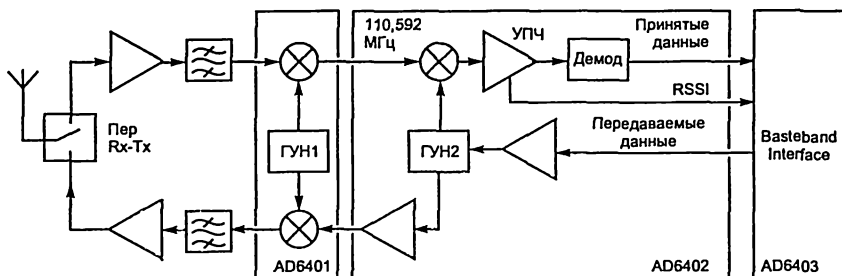


Рис. 8.10. Структура приемопередатчика на основе комплекта ИС AD6400 фирмы Analog Devices

## Тракт приема с одним преобразованием частоты

На рис. 8.11 показана доминирующая архитектура радиоблока DECT — приемник с одним преобразованием, в котором принимаемый сигнал переносится в первом смесителе на частоту ПЧ, имеющую для DECT типовое значение около 110 МГц.

На рис. 8.12 приведена структура приемопередатчика, в котором использованы ИС фирмы Siemens [56]. Частотный план такой структуры РЧ блока был приведен ранее на рис. 8.3. Сигнал гетеродина  $f_{het}$  вырабатывается RX ГУН, находящимся в ИС передатчика RMB2220, а затем, перед подачей на смеситель приемника происхо-

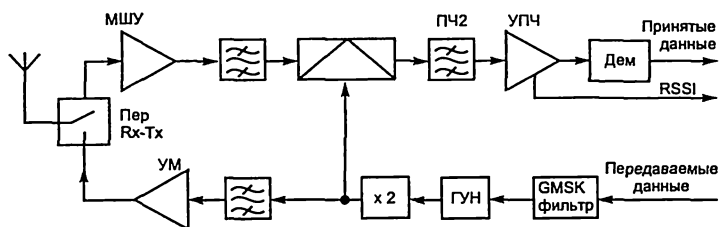


Рис. 8.11. Архитектура приемопередатчика с одним преобразованием частоты в приемнике

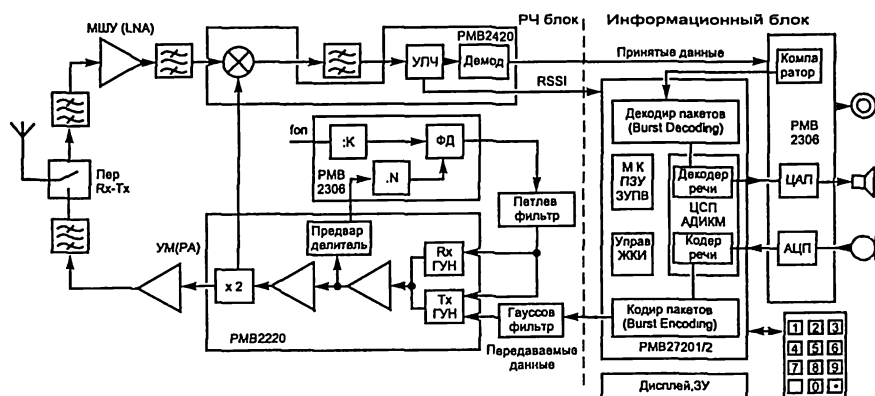


Рис. 8.12. Структура носимой части, выполненной на ИС фирмы Siemens

дит умножение его частоты на два. Данная структура приведена как достаточно типовая, хотя следует отметить, что фирма Siemens в настоящее время выпускает комплект ИС нового поколения, в который входят приемник PMB4420, передатчик PMB4220, усилитель мощности PMB 4820, контроллеры PMB5720/5722/5725/5735/4729.

### Приемники с прямым преобразованием

Стремление разработчиков уменьшить количество используемых в РЧ блоке навесных компонентов привело к использованию архитектуры приемника с прямым преобразованием (АПП) сигнала (*Direct Conversion Receiver, DCR, Dicon*). Достаточно часто эту архитектуру называют приемником с нулевой ПЧ (*Zero-IF receivers*) [103, 95]. На рис. 8.13 показана блок-схема такого устройства. Как и в классической супергетеродинной архитектуре, в данной используется перестраиваемый высокочастотный гетеродин, с помощью которого и производится выбор рабочего канала. Для достижения высоких качественных характеристик РЧ блока в нем необходимо использовать высоколинейный смеситель.

На рис. 8.13 показан соответствующий процесс преобразования сигнала рабочего канала в области частот. В приемнике прямого преобразования происходит перенос спектра принимаемого сигнала непосредственно в область низких частот, где и осуществляется его обработка в процессорном устройстве. Тракт усиления после смесителя

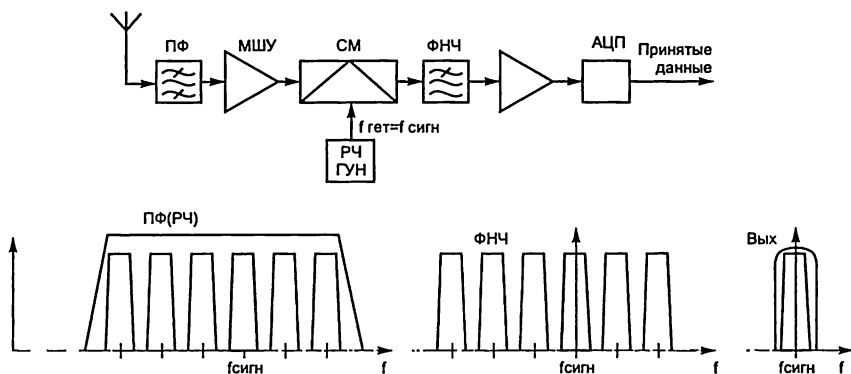


Рис. 8.13. Обобщенная структура РЧ блока с прямым преобразованием частоты



должен производить усиление в том числе и постоянной составляющей сигнала, чтобы не потерять важные компоненты принимаемой информации.

В структуре используется фильтр низких частот с крутыми фронтами (*high roll-off low-pass filter*), осуществляющий выбор рабочего канала (*Channel Select Filter*). В такой структуре отсутствует зеркальный канал приема и поэтому нет необходимости в использовании внешнего высокочастотного фильтра подавления зеркального сигнала. Так как уровень зеркального сигнала равен или меньше полезного сигнала, в архитектуре требуется незначительное подавление зеркального канала, и, соответственно, фильтр может быть выполнен внутрикорпусным. Процесс обратного преобразования шумов гетеродина уменьшен, так как для полного преобразования сигнала используется только один гетеродин. В целом, эта архитектура является весьма привлекательной в силу меньших стоимости, потребляемой мощности и массо-габаритных показателей. Отсутствие навесных компонентов делает эту архитектуру очень перспективной для интеграции.

Однако, несмотря на простоту и ряд других достоинств этой архитектуры, она не стала достаточно распространенной в РЧ блоках. Прямое преобразование сигнала влечет за собой возникновение ряда проблем, не существующих или не настолько серьезно проявляющихся в гетеродинном приемнике. Обнаружению и обработке сигнала могут препятствовать проблемы, вызванные утечкой сигнала гетеродина (*LO leakage*), изменяющимся по времени смещением посто-

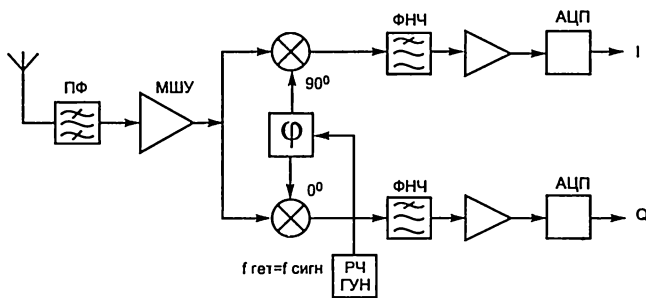


Рис. 8.14. Приемный тракт с прямым преобразованием сигнала в квадратурных каналах

янной составляющей (*DC offset*) и фликкер-шум (*Flicker noise*). Эта архитектура также весьма склонна к созданию интермодуляционных искажений второго порядка IM2 (*second-order intermodulation distortion product*) [2].

#### Утечка сигнала гетеродина и его самосмешение

Изоляция между сигнальным и гетеродинным входами смесителя и МШУ не идеальна. Возникают паразитные пути проникания сигнала с выхода гетеродина на вход МШУ и сигнальный вход гетеродина (рис. 8.15, а), т. е. создаются наводки напряжения гетеродина. Этот эффект, называемый «утечка сигнала гетеродина» (*LO Leakage*), является результатом емкостных связей, связи по подложке и печатной плате. Если сигнал гетеродина подается на ИС от внешнего внекорпусного источника, возникают паразитные связи по соединительным проводникам и кабелям. Сигнал утечки, появляющийся на входах МШУ и смесителя смешивается с сигналом гетеродина, таким образом создавая постоянную составляющую сигнала на выходе ФНЧ. Это явление называется иногда самосмешение (*self-mixing*).

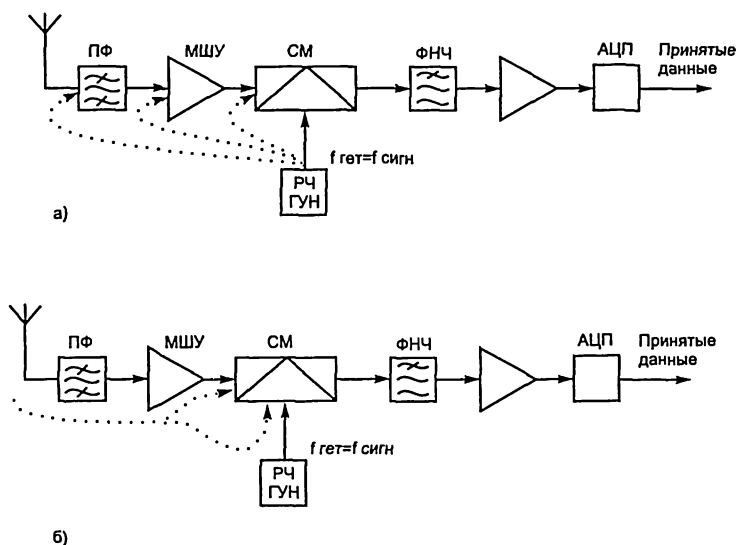


Рис. 8.15. Явление утечки сигнала гетеродина (а) и просачивание сигнала мощной помехи (б)

### Просачивание сигнала помехи

Подобный эффект наблюдается, если на гетеродинный вход смесителя со входа или выхода МШУ попадает сигнал **сильной входной помехи** и перемножается сам с собой (рис. 8.15, б). Данное явление называют «просачивание сигнала помехи» (*Interferer Leakage*). Зачастую этим мешающим сигналом может оказаться даже внеполосный сигнал мощных телевизионных передатчиков.

### Утечка сигнала гетеродина на антенный вход и его излучение

Утечка сигнала гетеродина через смеситель и МШУ на **антенный вход и излучение** его оттуда создает в рабочем диапазоне помеху для других приемников. Каждый беспроводной стандарт, международные и национальные нормативные документы налагают ограничения на максимальную величину внутрисполосного излучения гетеродина. Важно заметить, что частота гетеродина в приемниках с прямым преобразованием располагается внутри диапазона приема, и фильтры предварительной фильтрации не могут подавить излучения гетеродина. Проблема утечки меньше сказывается в супергетеродинных приемниках и смесителях с подавлением зеркального канала, потому что частоты их гетеродинов обычно находятся вне диапазона приема.

Кроме этого, излучаемый сигнал гетеродина может быть отражен различными стационарными или движущимися объектами и возвращен в антенну, как показано на рис. 8.16. При этом амплитуда и фаза отраженного сигнала имеют случайные, постоянно меняющиеся значения, что приводит в конечном счете к случайным неустраняемым

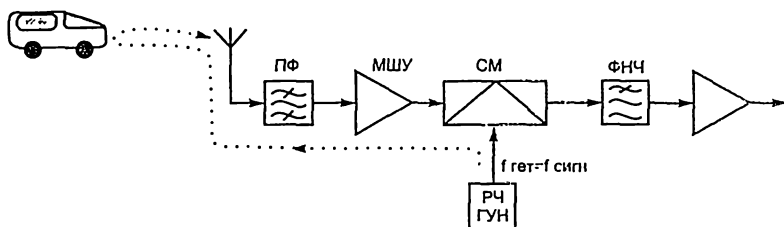


Рис. 8.16. Утечка сигнала гетеродина на антенный вход и его излучение

флуктуациям величины постоянной составляющей сигнала на выходе тракта приема.

Проблема утечки становится постепенно менее серьезной, так как все больше узлов РЧ приемопередатчиков размещается в одном корпусе микросхемы при тщательной конструктивной и технологической проработке, уменьшающей рассмотренные явления. Использование дифференциальных схем гетеродинов и смесителей также снижают остроту проблемы.

<p>Паразитные явления, возникающие в смесителе ППС</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Сигнал гетеродина просачивается на вход смесителя, смешиваясь сам с собой.</li> <li>• Сигнал гетеродина попадает на вход МШУ или антенну, излучается, создавая помехи соседним приемным устройствам.</li> <li>• Сигналы большого уровня проникает с РЧ входа смесителя на гетеродинный вход смесителя.</li> </ul>
--	--

#### **Смещение постоянной составляющей**

Так как в приемнике с прямым преобразованием сигнала происходит перенос сигнала на нулевую частоту, в тракте приема необходимо производить усиление в том числе и постоянной составляющей сигнала, содержащей важные информационные компоненты. Дрейф «нуля», возникающий в операционных усилителях, паразитное напряжение смещения уровня нуля (*DC offsets*) или смещение постоянной составляющей могут исказить сигнал и, что даже более важно, перевести последующие каскады в состояние насыщения. Это явление может возникать из-за целого ряда факторов, например влияния на характеристики компонентов тракта усиления окружающей среды и, прежде всего, температуры. Смещение постоянной составляющей возникает в результате разбаланса дифференциальных (квадратурных) каналов тракта приема, а также нестабильности амплитуды сигнала гетеродина.

Проблема смещения постоянной составляющей из-за самосмещения является особенно сильным, так как при этом на выходе тракта возникают паразитное смещение постоянной составляющей, величина которой зависит от фазовых соотношений напряжений наводок. Особенно тяжелым является возникновение изменяющейся во вре-

мени паразитной постоянной составляющей. Это происходит, например, когда протекающий на антенну сигнал гетеродина излучаются, а затем, отражаясь от объектов, в особенности перемещающихся, поступает опять на вход приемника.

Для достижения требуемых характеристик приемника, например его высокой чувствительности, тракт приема должен обеспечивать значительное усиление принятого сигнала. При этом уровень принятого сигнала должен быть больше, чем напряжение смещения. Таким образом, зачастую достижимые характеристики приемника с прямым преобразованием сигнала ограничиваются именно процессом паразитного смещения постоянной составляющей.

Эффект смещения постоянной составляющей может быть компенсирован при использовании различных мер, например, использования соответствующего цифрового сигнального процессора (ЦСП) или функции автоматической установки в ноль (*auto-zeroing function*). Компенсация смещения постоянной составляющей должна быть более тщательно производиться в изделиях, предназначенных для работы с более высокими скоростями передачи данных. Эффективными и простыми мерами борьбы с рассмотренными явлениями могут быть и правильное размещение компонентов РЧ блока, тщательная экранировка узлов.

### Фликкер-шум

Еще одной проблемой, связанной с применением архитектуры прямого преобразования, является проявление низкочастотных шумов, известных под названием фликкер-шума (*Flicker Noise*) или шумов типа  $1/f$ . При типовом значении коэффициента усиления узла МШУ/смеситель равном 30 дБ, величина преобразованного вниз сигнала составляет обычно десятки микровольт. Так как дальнейшее усиление сигнала происходит низкочастотным усилителем, НЧ шумы следующих каскадов — усилителей и фильтров, использующих обычно КМОП технологию — являются все еще заметными.

Эффект влияния фликкер-шума может быть уменьшен при использовании ряда методов и, частности, совершенствования технологии ИС. Кроме того, низкочастотные шумовые компоненты удается уменьшать с помощью тех же мер, что используются для уменьшения смещения постоянной составляющей.

Особенности архитектуры прямого преобразования АПП	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Нет необходимости использовать дискретные РЧ и ПЧ фильтрующие компоненты.</li> <li>• В принципе, полностью интегрируемая в одну РЧ ИС устройство.</li> <li>• Необходимо использовать только один СЧ, что приводит к отсутствию каналов побочного приема и комбинационных помех в РЧ блоке.</li> <li>• Осуществляемая в информационном тракте канальная фильтрация позволяет разрабатывать многостандартные приемопередатчики.</li> </ul>
	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>• В высокочастотном синтезаторе необходимо использовать дорогой высококачественный ГУН.</li> <li>• Наличие утечек сигнала гетеродина.</li> <li>• Восприимчивость к смещению постоянной составляющей и низкочастотным помехам.</li> <li>• Необходимость согласования квадратурных I/Q каналов в широком диапазоне уровней сигнала и коэффициентов усиления.</li> </ul>

### Приемники с низкой ПЧ

Стремление разработчиков к созданию полностью интегрированного высококачественного РЧ блока с элементами внутрикорпусной полосовой фильтрации привела к появлению архитектуры приемника с низкой ПЧ (*Low-IF receivers*) [96, 6]. Основная цель ее использования состоит в том, чтобы защитить приемник от смещения постоянной составляющей, являющегося главным недостатком приемников прямого преобразования, при сохранении основного достоинства таких приемников — устранения высокочастотных фильтров ПЧ. В этой архитектуре величина низкочастотной ПЧ составляет обычно сотни кГц, так что в ней может быть применен низкодобротный ФНЧ выбора рабочего канала.

Как следует из названия, вместо непосредственного преобразования сигнала на нулевую частоту и подачи этого сигнала на информационный блок, частота гетеродина слегка сдвинута от несущей РЧ, обычно на один-два канала. Такая архитектура приемника с низкой ПЧ весьма удобна для реализации в виде ИС, так как подавление зеркального и выбор рабочего канала могут быть произведены с помощью низкодобротного полосового фильтра, устанавливаемого после смесителя. Низкая ПЧ означает, что относительная ширина полосы

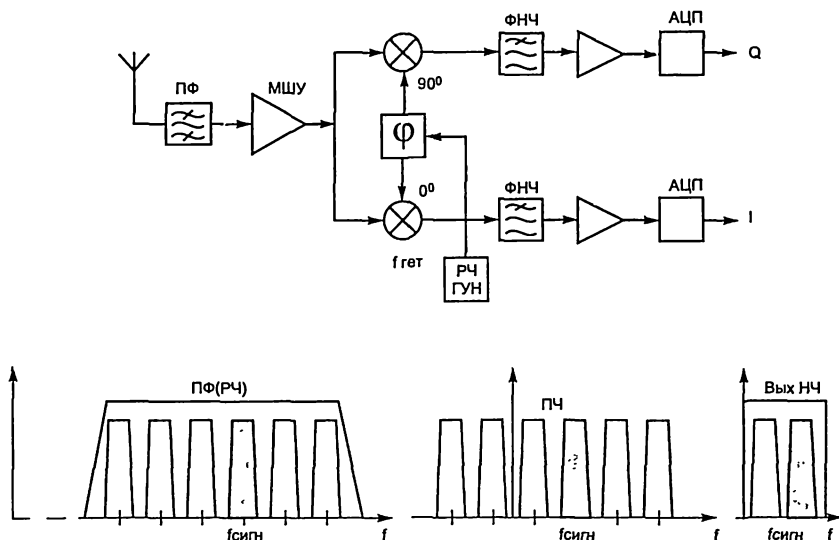


Рис. 8.17. Приемник однократного преобразования с низкой ПЧ

пропускания фильтра ПЧ большая, и это дает возможность сделать его низкодобротным. При этом ПЧ ПАВ или кварцевый фильтр, необходимые при высокой ПЧ, может быть заменен активным RC-фильтром или другим фильтром, подходящим для интегрального выполнения.

В отличие от архитектуры с нулевой ПЧ, приемник с низкой ПЧ не чувствителен к паразитному смещению постоянной составляющей, утечке гетеродина, имеет меньшие интермодуляционные искажения. Низкое значение ПЧ также дает возможность производить последующую обработку сигнала различными способами. Сигнал ПЧ может быть передан к информационному блоку ВВ через еще один смеситель, или, что более предпочтительно, в цифровой форме после аналого-цифрового преобразования. Конечно, это становится возможным благодаря применению более быстродействующих аналого-цифровым преобразователей с высоким разрешением. Если номинал ПЧ равен только одному или двум частотным каналам, то невозможно обеспечить необходимую избирательность на радиочастоте, так как полоса пропускания РЧ фильтра должна быть достаточно широкой, чтобы передать все каналы системы. В этом случае основное подавление зеркального канала должно происходить в квадра-

турном преобразователе на низкую ПЧ, в качестве которого целесообразно использовать СПЗК.

Одним из недостатков этой архитектуры является ограниченное подавление зеркального канала, составляющее около 40 дБ из-за внутрикорпусного согласования I и Q каналов. В РЧ блоке необходимо использовать перестраиваемый высокочастотный гетеродин с хорошими характеристиками, что затрудняет и удорожает разработку СЧ. Введение обычно используемого асимметричного многофазного фильтра для улучшения подавления зеркального канала вносит дополнительные потери и ухудшает шумовые характеристики РЧ блока. Без надлежащей предварительной фильтрации могут существенно увеличиваться требования к динамическому диапазону и разрешению АЦП. При использовании этой архитектуры в широкополосных системах значительно возрастает энергопотребление устройства.

Особенности приемника с низкой ПЧ	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Принципиальная возможность полной интеграции РЧ блока и создания многостандартного устройства.</li> <li>• Возможность отказа от РЧ фильтров.</li> <li>• Отсутствие паразитного смещения постоянной составляющей.</li> </ul>
	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Невозможность обрабатывать большие зеркальные компоненты.</li> <li>• Необходимо использовать перестраиваемый высококачественный РЧ ГУН.</li> <li>• Утечка сигнала ГУН в антенну.</li> <li>• Квадратурные каналы должны быть идентичными.</li> <li>• Взаимное смешивание (Reciprocal mixing) блокирующих сигналов и гармоник ГУН.</li> </ul>

### Широкополосные приемники с двойным преобразованием частоты

В последнее время разработчики стали проявлять интерес к архитектуре широкополосного приемника с двойным преобразованием частоты (*Wideband double-IF receiver*), в котором объединена архитектура приемника с нулевой ПЧ и традиционного супергетеродина, позволяющая по мнению ряда разработчиков оптимизировать потребление мощности и характеристики устройства [99]. Блок-схема широкополосного приемника с двойным преобразованием частоты



показана на рис. 8.18. Эта структура похожа на супергетеродин, в котором используется несколько каскадов ПЧ, а первая ПЧ находится в области сотен МГц.

Если в качестве элементов фильтрации по ПЧ использовать ФНЧ, то такая архитектура может быть использована при разработке РЧ блока в виде одной ИС. На рис. 8.19 показан и соответствующий процесс преобразования сигнала.

Используемый в системе полный РЧ спектр полностью преобразуется вниз на ПЧ, имеющую достаточно высокое значение, с использованием неперестраиваемого гетеродина. Так как частота этого гетеродина выбирается вне используемого диапазона, единственный необходимый внешний РЧ фильтр после антенны действует также как фильтр подавления зеркального сигнала. После прохождения

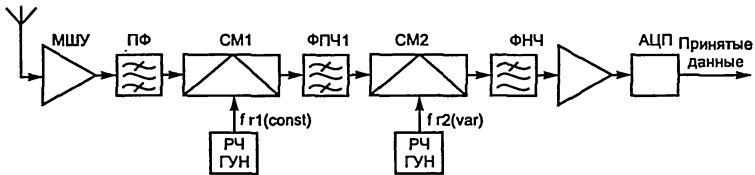


Рис. 8.18. Архитектура широкополосного приемника с двойным преобразованием частоты

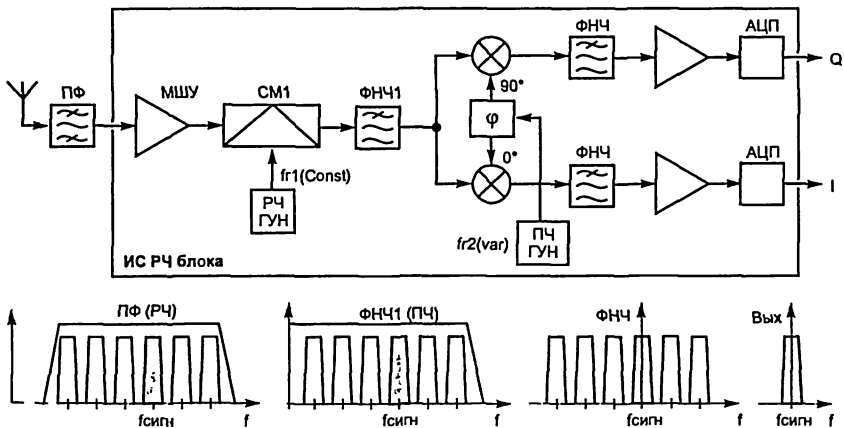


Рис. 8.19. Архитектура широкополосного приемника с двойным преобразованием частоты

преобразованного вниз сигнала через фильтр низких частот, сигнал переносится на частоты информационного тракта с помощью второго сложного смесителя, в котором производится активное подавление зеркального канала. Настройка на желаемый канал производится с помощью второго перестраиваемого гетеродина.

Приемник, выполненный с применением данного подхода, может быть выполнен на основе одной ИС высокой степени интеграции, имеет малую стоимость. Кроме того, неперестраиваемый первый гетеродин облегчает разработку высокочастотного синтезатора частоты с низкими фазовыми шумами, что ведет к сокращению потребления мощности. Так как первая ПЧ выбирается в высокочастотном диапазоне, делитель в цепи обратной связи имеет малые значения коэффициента деления. Следовательно, может быть улучшена общая характеристика фазового шума синтезатора.

Хотя в этой структуре проблема утечки сигнала гетеродина не существует, наблюдается эффект смещения постоянной составляющей и искажения IM2. В данной архитектуре может наблюдаться также взаимное влияние каналов ПЧ и РЧ. Фильтр низких частот осуществляет выбор канала лучше, чем более энергопотребляющий полосовой фильтр. Разработчики продемонстрировали достаточно высокое подавление зеркального канала 55 дБ.

### Приемник с субдискретизацией (подвыборками)

С появлением быстродействующих КМОП-структур ряд разработчиков начали исследование возможности использования в РЧ блоках ССПО архитектуры тракта приема с подвыборками (субвыборками) (*Sub-sampling receivers*), как это показано на рис. 8.20 [101].

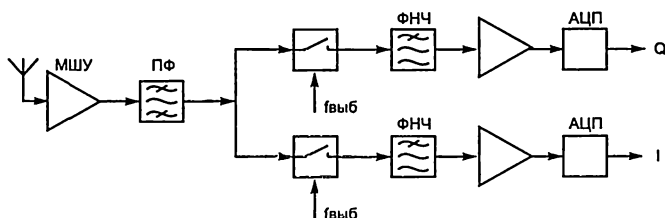


Рис. 8.20. Приемный тракт с подвыборками

Схема выборки (*Sampling circuit*) заменяет смеситель в архитектуре с нулевой ПЧ. При этом РЧ сигнал дискретизируется с Найквистовской скоростью, преобразуясь непосредственно в сигнал информационного тракта.

### Приемники с цифровой ПЧ

Развитие техники и технологии цифровых ИС привело к тому, что заключительное смешивание и фильтрация, осуществляемые в каскадах ПЧ, могут производиться уже в цифровой области [104]. В приемниках с цифровой ПЧ (*Digital IF receiver*) происходит оцифровывание непосредственно сигнала ПЧ. В качестве ПЧ гетеродина используется прямой цифровой синтезатор частот DDS (*Direct Digital frequency Synthesizer*) называемый иногда генератором с цифровым (программным) управлением NCO (*Numerically Controlled Oscillator*). Это устройство реализовано полностью с использованием цифровой техники и рядом фирм выполняется в виде специализированной ИС. Генератор формирует цифровые выборки двух синусоид с точным сдвигом по фазе на 90 градусов (рис. 8.20).

Важным является то, что интенсивность формирования выходных выборок синусоиды всегда определяется опорной частотой  $f_s$ , независимо от номинала генерируемой частоты. Номинал выходной частоты устанавливается путем изменения величины приращения фазы на выборку (*phase advance per sample*). Малое приращение фазы на выборку соответствует низким частотам, большое приращение — высоким частотам. Величина приращения фазы на выборку прямо пропорциональна выходной частоте и программируется в диа-

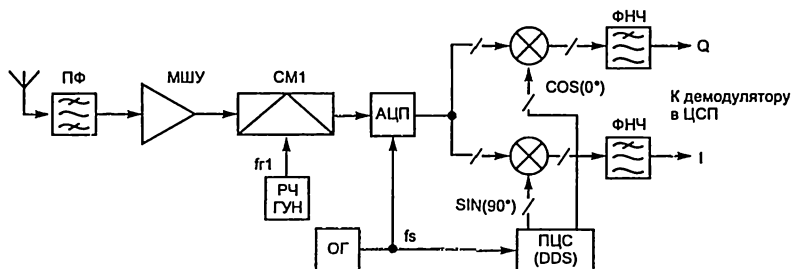


Рис. 8.21. Обобщенная структура приемника с цифровой ПЧ

пазоне от 0 до  $f_s/2$ . Более подробно такие устройства будут рассмотрены далее.

Важным компонентом такого приемника является цифровой смеситель, фактически состоящий из двух цифровых перемножителей (*Digital Multipliers*). Цифровые выборки входного сигнала от АЦП математически перемножаются с цифровыми выборками синуса и косинуса, поступающими с выхода цифрового гетеродина. В отличие от аналоговых смесителей, которые создают также много нежелательных компонент на выходе, цифровые смесители являются практически идеальными устройствами и производят только два выходных сигнала суммарной и разностной частот.

Опорный сигнал АЦП  $f_s$  подается на гетеродин ПЦС. Цифровые выборки синусоиды с выхода гетеродина определяются опорной частотой  $f_s$ , и генерируются со скоростью, равной частоте выборки АЦП, будучи синхронизированными одним опорным сигналом  $f_s$ . Использование цифровой ПЧ кроме всего прочего позволяет избежать проявления разбаланса каналов I и Q, что приводит к хорошему подавлению зеркального канала. Эта архитектура, однако, требует применения быстродействующего АЦП, а это влечет за собой увеличение тока потребления всего тракта приема.

## Архитектура тракта передачи

Структура тракта передачи обычно более простая, чем тракта приема. Архитектура ИС тракта передачи, также как и приемного тракта, отличается у различных производителей, что дает разработчикам возможность реализации своих идей и достижения компромиссов при проектировании. Необходимость быстрого изменения используемого частотного канала в DECT системах, в особенности при передаче данных, налагает на перестраиваемый по частоте ГУН довольно жесткие требования по быстродействию.

При проектировании передатчика, используемого в современной ССПО, важнейшим является учет типа используемой модуляции. Методы модуляции могут быть разделены на две группы: методы модуляции с постоянной огибающей (*constant envelope*) и с изменяющейся огибающей (*variable envelope*) [101]. Первая группа методов имеет

постоянную амплитуду промодулированного сигнала, что допускает использование в передатчиках нелинейных усилителей мощности. Примером такой модуляции является GFSK сигнал — гауссовская частотная манипуляция (*Gaussian filtered frequency shift keying*). Сигналы с постоянной огибающей более эффективны энергетически (*power efficient*), чем спектрально (*spectrally efficient*). В большинстве систем связи информационный сигнал подвергается предварительной гауссовской фильтрации, чтобы постепенно измениться сдвиг частоты, делающей формируемый сигнал спектрально более эффективным. Передатчики, формирующие такие виды модуляции, должны соответствовать требованиям спектральной маски так, чтобы излучаемый сигнал не создавал помехи другим пользователям в соседних каналах.

У сигналов с изменяющейся огибающей типа квадратурной фазовой манипуляции QPSK (*quadrature phase shift keying*) происходит вариация и амплитуды и фазы, что приводит к необходимости использования на выходе передатчика высоколинейного усилителя мощности. Они спектрально компактны, но энергетически не очень эффективны (*power-efficient*) [111, 112]. Такие сигналы формируются на ПЧ с использованием схем косвенной и прямой квадратурной модуляции и далее преобразуются вверх по частоте на РЧ канал.

В последнее время появились новые разновидности архитектур передатчиков для методов модуляции с изменяющейся и постоянной огибающими, имеющие как достоинства, так и недостатки. Наиболее распространенные разновидности описаны далее.

### Квадратурные модуляторы

Квадратурный модулятор (*Quadrature Modulator*) или I/Q (*In-phase/quadrature*) модулятор, типовая структура которого показана на рис. 8.22 представляет собой универсальное устройство, с помощью которого могут быть получены сигналы практически со всеми видами модуляции, используемыми в ССПО. Квадратурный модулятор — это устройство, имеющее РЧ вход и РЧ выход и два информационных входа I и Q. РЧ сигнал может быть изображен в полярных координатах амплитудой и фазой или в декартовых координатах как величины векторов X и Y. В терминологии цифровых сигналов, вектор X заменяется на синфазный I (*In-phase*), а вектор Y заменяется на квадратур-

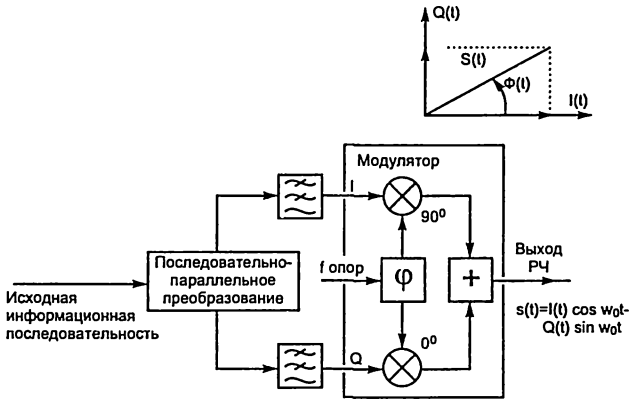


Рис. 8.22. Функционирование квадратурного модулятора

ный  $Q$  (*Quadrature*), отсюда следует название  $I/Q$  модулятор/демодулятор. При использовании квадратурных модуляторов на их модуляционные  $IQ$  входы с информационного тракта поступают две информационные последовательности. Они формируются в цифровых узлах из исходного информационного потока с помощью последовательно-параллельного преобразования. В синфазной  $I$  и квадратурной  $Q$  последовательностях скорость следования символов равна половине скорости в исходной информационной последовательности.

Квадратурные опорные сигналы получают при использовании фазосдвигающего узла, формирующего два опорных ортогональных сигнала со сдвигом фазы на  $90$  градусов. Фаза выходного сигнала перемножителя в канале  $I$  может иметь значения  $0$  или  $180$ , в канале  $Q$  —  $90$  или  $270$  градусов. После суммирования этих сигналов на выходе модулятора может быть получен модулированный сигнал с требуемыми параметрами. Амплитуду и фазу вектора промодулированного выходного РЧ сигнала определяют амплитуда и полярность информационных  $I/Q$  сигналов.

### Передатчики с прямой модуляцией

В передатчике с прямой модуляцией (*Direct modulation transmitter*), наиболее простая структура которого показана на рис. 8.23, модуляция и перенос вверх по частоте информационного сигнала происходит за один шаг.

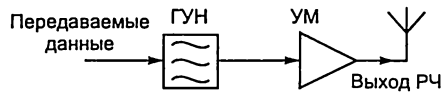


Рис. 8.23. Тракт передачи с прямой модуляцией

Большинство производителей ИС предпочитают при возможности использовать в своих схемотехнических решениях архитектуру передатчиков с прямой модуляцией на РЧ, т. к. при этом уменьшаются массогабаритные показатели устройства.

### Архитектура тракта передачи с прямой квадратурной модуляцией

Структура блока с прямой квадратурной модуляцией (*Direct quadrature modulation*), которая приведена на рис. 8.24, является более общей формой архитектуры прямого преобразования, используемой в тракте передачи. Эта архитектура передатчика имеет несколько преимуществ по сравнению с рассматриваемыми далее структурами с преобразованием частоты вверх и передатчиками с петлей трансляции, так как в ней не используется второй ПЧ гетеродин или вторая петля ФАП. Кроме того, в ней не требуется преобразователь вверх, так как модулятор непосредственно выполняет преобразование сигнала вверх по частоте на РЧ частоту рабочего канала. По сравнению с архитектурой с петлей трансляции, здесь не требуется петля обратной связи, которая содержит дополнительный смеситель, фазовый детектор, делители и петлевой фильтр.

Исторически прямые квадратурные модуляторы использовались в различных носимых устройствах ССПО, но при этом обычно требовалось применение дуплексного фильтра для обеспечения выполнения требований по коэффициенту шума в приемных трактах.

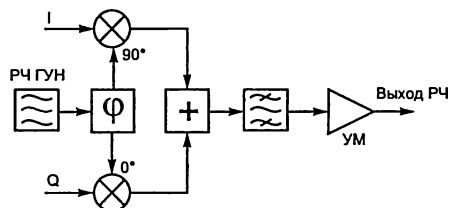


Рис. 8.24. Архитектура с прямой квадратурной модуляцией

Конструктивно в таком тракте передачи используются два РЧ перемножителя сигналов и петля ФАПЧ с перестраиваемым РЧ гетеродином. Эта архитектура позволяет достигать высокой степени интеграции РЧ блока, так как подавление зеркального канала производится в активных каскадах с использованием фазовых методов. Побочные составляющие на выходе передатчика, связанные с формированием ПЧ, отсутствуют в силу отсутствия в передатчике самой ПЧ.

В данной архитектуре, по сравнению с непрямой модуляцией, используется меньшее количество компонентов, но использование двух перемножителей, работающих на высоких канальных частотах, может привести к значительному увеличению тока, потребляемого РЧ блоком. Трудность в достижении точного сдвига фазы в квадратурных каналах на высоких частотах приводит к недостаточному подавлению сигнала зеркального канала.

Достоинствами схемы с прямой модуляцией на РЧ являются: простота, большой динамический диапазон передатчика по сравнению с передатчиком, выполненным с трактом преобразования частоты, уменьшение энергопотребления, уменьшение массогабаритных показателей устройства из-за отсутствия фильтров ПЧ, смесителей. В системах, работающих по стандарту CDMA важна работа тракта в большом динамическом диапазоне, что связано с особенностями стандарта, в частности необходимости регулировки выходной мощности передатчика в очень широких пределах. Получение большого динамического диапазона передающего тракта особенно важно для осуществления перехода к большим скоростям модуляции, обеспечивающим увеличение скоростей передачи данных при переходе к системам подвижной связи третьего поколения (*Third Generation, 3G*).

### **Проблемы использования архитектуры с прямой модуляцией**

Рассмотренное архитектурное решение, являясь простым, может приводить к возникновению *ряда паразитных эффектов*, ухудшающих качество формируемого сигнала, которые могут возникать, когда генератор РЧ ГУН и выходной усилитель мощности работают на одной частоте:



- **затягивание частоты (*Frequency pulling*)** генератора, управляемого напряжением — отклонение выходной частоты ГУН от номинальной величины, вызванное изменениями нагрузки на его выходе. Явление затягивания частоты должно быть минимизировано, особенно в тех случаях, когда каскады усиления мощности в структуре передатчиков функционально и конструктивно находятся близко к ГУН. При этом импульсный режим работы УМ по питанию и РЧ, присущий современным ССПО, при котором существенно меняются параметры усилителя, может воздействовать на выходную частоту ГУН. Такая паразитная связь может приводить даже к срыву процессов РЧ синхронизации ГУН;
- **смещение частоты (*Frequency pushing, Pushing*)** — изменение выходной частоты ГУН при воздействии внешних воздействий, исключая изменение величины нагрузки генератора, при фиксированном напряжении настройки. При этом чаще всего ограничиваются лишь учетом влияния изменения величины напряжения источника питания. Наблюдается сильное влияние мощного усилителя передатчика по цепи питания на ГУН. Внезапный бросок тока, вызванный изменением режима работы выходного усилителя мощности абонентского устройства, может приводить к паразитному выбросу постоянного напряжения на входе питания ГУН. Это в свою очередь приводит к нежелательному скачку значения выходной частоты ГУН. Для уменьшения такого влияния в цепи питания УМ устанавливают фильтрующие цепочки, в качестве которых используются РЧ дроссели и параллельно включаемые емкости, отличающиеся по номиналу на несколько порядков;
- **затягивание ГУН по входу (*Injection pulling*)** — дополнительная подмодуляция УМ за счет непосредственного влияния УМ на управляющий вход ГУН. Эта точка является очень чувствительной, т. к. крутизна перестройки ГУН в ССПО может достигать 160...180 МГц/В. Наиболее действенной мерой предотвращения затягивания является оптимальное конструктивное выполнение РЧ блока, экранирование УМ и генераторов. Хотя затягивание по входу может быть уменьшено надлежащей изоляцией между УМ и генератором, трудно определить достаточ-

ность и качество уровня изоляции, пока полностью не произведено изготовление и тестирование реальной конструкции РЧ блока;

- влияние изменения нагрузки передатчика на качество формируемого сигнала из-за плохого качества антенн устройства и влияния местоположения трубки относительно тела человека на ее параметры. При этом изменяется нагрузка УМ и режим работы каскадов, а следовательно меняется режим работы ГУН;
- паразитное просачивание сигнала несущей от РЧ ГУН на выход передатчика (*carrier feed through*).

Затягивание частоты ГУН (*pulling of VCO*), генерирующего непосредственно несущую частоту передачи, может быть вызвано сигналом, попадающим назад с выхода усилителя мощности. Это вызывает ухудшение спектральной частоты сигнала гетеродина с последующим снижением качества промодулированного сигнала.

Чтобы уменьшить эффект затягивания частоты гетеродина, используется ряд технических решений:

- формирование гетеродинного сигнала с помощью сдвига по частоте путем смешения с сигналом второго гетеродина;
- смешение с сигналом гетеродина, поделенного по частоте;
- удвоение частоты гетеродина;
- деление его частоты;
- дробное деление и умножение с использованием регенеративного смесителя;
- использование широкополосной системы ФАПЧ.

Ранее приведенный пример использования архитектуры с прямой квадратурной модуляцией в тракте передачи может использоваться для получения любого типа модуляции. Эта простая архитектура может помогать от ослабленного требования к РЧ фильтрации, потребность в одиночном синтезаторе и меньшем количестве побочных составляющих над архитектурой передатчика двойного преобразования. Несмотря на рассмотренные выше проблемы, GSM передатчики с использованием прямой квадратурной модуляции, и ГУН, генерирующими непосредственно несущую частоту передачи, производились в массовом количестве.

### Прямая модуляция со сдвигом частоты ГУН

На рис. 8.25 показана блок-схема передатчика, в котором используется прямая модуляция с сдвигом частоты ГУН (*Direct Modulation with Offset VCO*). Основной принцип действия этого метода тот же самый, как в архитектуре передатчика прямой модуляции, однако, опорный сигнал получен путем смешивания и фильтрации сигналов двух генераторов, работающих на частотах, отличных от канальной, что приводит к уменьшению эффекта затягивания частоты гетеродинов.

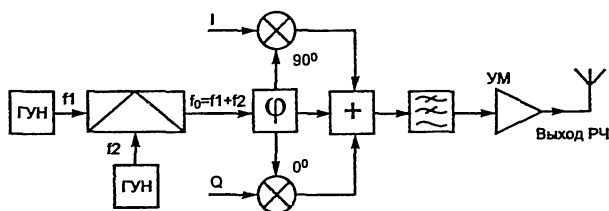


Рис. 8.25. Архитектура передатчика со сдвигом частоты ГУН

Этот метод имеет те же самые преимущества, что и метод прямой модуляции за исключением того, что в этой архитектуре практически отсутствует эффект затягивания гетеродина по входу. Неправильный выбор частот гетеродинов может привести к появлению их гармоник и комбинационных составляющих на выходе передатчика, поэтому фильтр низких частот, устанавливаемый на выходе смесителя сигналов гетеродинов должен обладать хорошей избирательностью, чтобы избежать воздействия неидеальностей формируемого опорного сигнала на качество переданного сигнала.

### Прямая модуляция с удвоением частоты

Путем преодоления этих недостатков является использование буферных каскадов и удвоителей частоты после ГУН (рис. 8.26). При этом ГУН работает на половинной частоте, но в передатчике могут возникать дополнительные искажения сигнала, паразитная амплитудная модуляция (ПАМ), увеличиваться фазовый шум, ухудшаться спектральные характеристики получаемого радиосигнала.

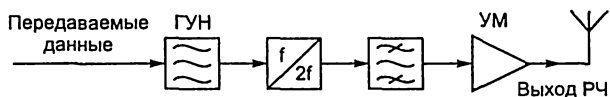


Рис. 8.26. Тракт передачи с прямой модуляцией на РЧ и удвоением частоты

В частности, структура с прямой модуляцией на РЧ применяется в приемопередатчиках систем, работающих по стандарту DECT. В качестве примера приведем структурную схему такого устройства, реализованную на ИС PMB 2420 и PMB 2220 фирмы Siemens. Система, работающая в стандарте DECT, относится к системам с временным дуплексированием, поэтому приемник и передатчик работают на одной частоте. Структурная схема приемопередатчика с использованием такой архитектуры приведена на рис. 2.13. При таком построении приемопередатчика частоты ГУН при передаче и приеме отличаются на величину, равную значению первой ПЧ приемника, типовой номинал которой равен 110,592 МГц. За время между временными интервалами приема и передачи синтезатор частот ГУН должен перестраиваться, по крайней мере, в этом диапазоне. Это делает необходимым применение в таком передатчике быстродействующего синтезатора частоты (*Fast-hopping Synthesiser*). Однако, за счет использования отдельных генераторов (Rx, Tx), требования по быстродействию, предъявляемые к используемым ГУН и СЧ, могут быть ослаблены.

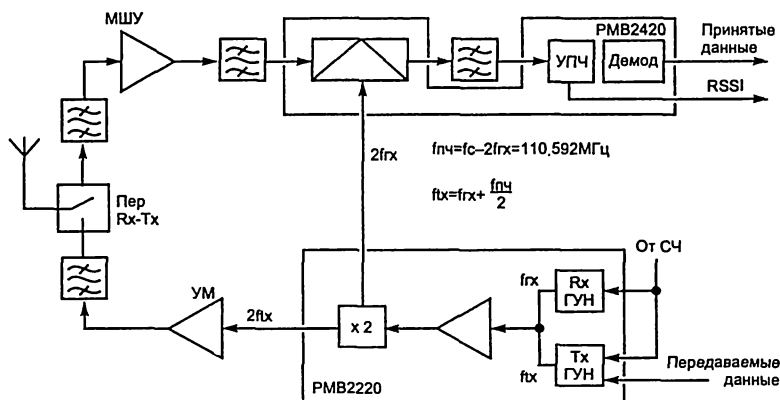


Рис. 8.27. Структура РЧ блока приемопередатчика DECT с удвоением частоты

### Передатчики с непрямой модуляцией

Если модуляция сигнала и преобразование его вверх по частоте выполняется в два последовательных этапа, говорят об использовании архитектуры тракта передачи с двойным преобразованием (*dual conversion*) или с двухступенчатым преобразованием (*two-step conversion*). Укрупненная структура такого тракта показана на рис. 8.28.

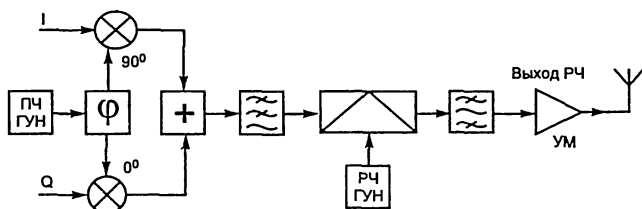


Рис. 8.28. Архитектура тракта передачи с двойным преобразованием

В передатчиках с двойным преобразованием модулятор выполняет модуляцию и отчасти преобразование сигнала вверх по частоте на фиксированную частоту ПЧ. Сигнал отфильтруют с помощью ФНЧ, чтобы удалить гармоники первого гетеродина. Второй блок — смеситель с преобразованием вверх по частоте (*upconverting mixer*), выполняет преобразование на РЧ частоту рабочего канала. Так как на выходе второго смесителя генерируется две боковых полосы, внешний фильтр после смесителя отфильтровывает нежелательную боковую полосу также как другие возникающие нежелательные побочные составляющие. Затем сигнал усиливается и подается на выход для передачи.

Возможно использование и более двух шагов для переноса вверх по частоте сигнала информационного тракта на РЧ. В англоязычной литературе для такой архитектуры тракта передачи используется термин «передатчики с непрямой (косвенной) модуляцией» (*Indirect modulation*).

Этот метод может использоваться для модуляции с постоянной и изменяющейся огибающей. Так как квадратурная модуляция выполняется на частоте ПЧ (обычно несколько сотен МГц), может быть получена идентичность квадратурных каналов I и Q при невысоком энергопотреблении. В трактах с непрямой модуляцией можно пред-

отвратить явления утечки сигналов гетеродинов и затягивания частоты гетеродина.

Во многих современных CDMA и TDMA мобильных телефонах используется двухступенчатый принцип построения передатчика. Хотя этот метод достаточно популярен, необходимость использования внешнего полосового фильтра для осуществления хорошего подавления побочных составляющих, не позволяет достигать основной цели разработчиков — выполнения РЧ блока в виде полностью интегрированного узла. По сравнению с прямым преобразованием, использование этого подхода создает меньше проблем, но требует добавления фильтров в тракт РЧ и ПЧ. Для подавления уровня широкополосного шума и более высоких гармоник ПЧ, сгенерированных квадратурным I/Q модулятором необходим ПЧ фильтр. Трудность в реализации фильтра нижних частот высокого порядка между каскадами ПЧ и РЧ, может приводить к недостаточному подавлению побочных сигналов, являющихся гармониками ПЧ [101, 102]. Для уменьшения уровней нежелательных боковой полосы и побочных составляющих, получаемых в результате процесса преобразования вверх, требуется РЧ фильтр.

Другой проблемой при использовании двухступенчатого построения передатчика является формирование гетеродинных частот для первого и второго преобразований сигнала вверх по частоте. По сравнению с архитектурой прямого преобразования в данной структуре должен быть сгенерирован дополнительный гетеродинный сигнал, при этом может потребоваться и вторая петля фазовой автоподстройки с низкими фазовыми шумами.

### **Передатчики с петлей трансляции и преобразованием сигнала вверх по частоте**

Универсальность петли фазовой автоподстройки частоты как умножителя частоты делает ее использование в передатчиках подвижной связи для осуществления частотной модуляции и преобразования сигнала вверх по частоте весьма перспективным. В режиме синхронизации, петля ФАПЧ с опорной частотой  $F_0$  и делителем в цепи обратной связи с коэффициентом деления  $N$  формирует выходную частоту  $F_i$ , номинал которой равен:  $F_i = N F_0$ .

Используемая в трактах передачи РЧ блоков петля ФАПЧ называется обычно петлей трансляции (*translational loop*) или сдвигающей петлей фазовой автоподстройки *OPLL (offset phase-locked loop)*. При таком подходе для минимизации внешней фильтрации на РЧ выходе передатчика используется петля фазовой автоподстройки, действующая подобно отслеживающему узкополосному полосовому фильтру. Архитектура трактов передачи с использованием петли трансляции, в значительной степени заменила вышеперечисленные архитектуры при использовании видов модуляции с постоянной огибающей, так как при этом обеспечивается низкий уровень шумов на выходе и низкий уровень побочных составляющих. Эта архитектура используется в GSM носимых устройствах, чтобы уменьшить их стоимость и потребляемую мощность.

Уменьшить чувствительность ГУН к затягиванию позволяет использование ФАП с полосой пропускания петли, намного большей, чем полоса частот модуляции. Низкой восприимчивостью к затягиванию обладают существующие структуры трактов передачи с петлей трансляции где частота колебаний мощного ГУН равна частоте передачи.

В стандарте GSM, где модуляция производится при постоянном сигнале огибающей, во всех этих архитектурах могут использоваться усилители мощности, работающие в классе С, обеспечивая хороший коэффициент полезного действия добавленной мощности PAE.

Дополнительным преимуществом систем с петлей трансляции является то, что ГУН удаляет любую остаточную АМ компоненту формируемого сигнала, что позволяет лучше управлять усилителем в классе С и дополнительно повышает КПД добавленной мощности. Петля трансляции ФАПЧ, имеющая в широкой полосе частот, приблизительно 1,5 МГц для GSM, единичный коэффициент усиления, обеспечивает достаточную защиту от затягивания частоты и устраняет необходимость использования специального экранирования.

Дополнительным достоинством использования петли трансляции является достижение низкого уровня шума, позволяющей заменить дуплексер на входе РЧ блока переключателем прием/передача. Удаление дуплексного фильтра, вносящего дополнительные потери, позволяет усилителю мощности работать с меньшей выходной мощностью.

Для получения частотной модуляции с одновременным преобразованием сигнала вверх по частоте в таких передатчиках (*Up-conversion modulation loop transmitter*) можно осуществлять модуляцию опорного сигнала  $f_0$  петли ФАПЧ или производить дополнительное управление делителем в цепи обратной связи, изменяя его коэффициент деления  $N$  в соответствии с потоком передаваемых данных. В настоящее время для технической реализации обоих этих способов разработаны различные гибридные схемы.

### Передатчик с прямой модуляцией ГУН на основе петли ФАПЧ

Самый простой способ сформировать сигнал с постоянной огибающей реализован в передатчике с прямой модуляцией ГУН на основе ФАПЧ (*PLL-based direct VCO modulated transmitter*), структура которого показана на рис. 8.29. В этой архитектуре происходит непосредственная модуляция генератора РЧ ГУН, управляемого напряжением, информационными данными. Для точной начальной установки несущей частоты ГУН используется петля ФАПЧ. Затем происходит размыкание петли, и в цепь управления ГУН подается информационный поток.

Этот метод чрезвычайно привлекателен для использования в ИС РЧ блока с высокой степенью интеграции и малым энергопотреблением. Так как в ГУН происходит и преобразование частоты и модуляция, в РЧ блоке используется меньшее количество компонентов. Самым большим недостатком этой разновидности архитектуры является то, что частота ГУН в разомкнутой петле дрейфует. Это приводит к расстройке выходной частоты, которая после замыкания петли должна быть скомпенсирована до подачи на ГУН модулирующего

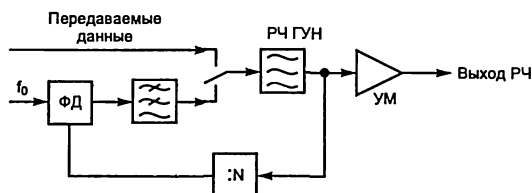


Рис. 8.29. Передатчик с прямой модуляцией ГУН на основе ФАПЧ



сигнала. В данной архитектуре наблюдается также явление паразитной внешней синхронизации ГУН (*Injection Locking*), что требует хорошей развязки прежде всего между ГУН и УМ.

### Передатчик с квадратурным модулятором внутри петли обратной связи

На рис. 8.30 показан вариант петли трансляции, которая включает квадратурный модулятор внутри петли обратной связи. Такое построение использует I/Q модулятор, смеситель с понижением частоты, фазовый детектор с генератором тока на выходе, два программируемых делителя частоты, петлевой фильтр и ГУН. Преимущество этой архитектуры в том, что программируемые делители обеспечивают дополнительную гибкость в частотном планировании.

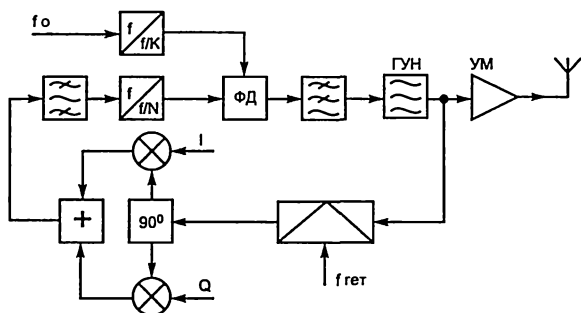


Рис. 8.30. Передатчик с квадратурным модулятором внутри петли обратной связи

### Передатчик на основе ФАПЧ с модуляцией опорного сигнала

В передатчике на основе ФАПЧ с модуляцией опорного сигнала (*Input reference modulated transmitter*), информационный сигнал сначала переносится на частоту ПЧ в квадратурном модуляторе. Дополнительный перенос сигнала ПЧ вверх на частоту канала РЧ производится с помощью петли ФАПЧ, осуществляющей также дополнительную фильтрацию выходного сигнала. Для получения необхо-

димого шага по частоте в петле обратной связи вместо делителя может использоваться смеситель и фильтр низких частот.

На рис. 8.31 показана структура тракта передачи, состоящего из квадратурного модулятора, смесителя с понижением частоты, фазового детектора, петлевого фильтра и ГУНа. Частота гетеродина передатчика сдвинута от несущей частоты передачи на значение  $f_{пч} = f_{гун} - f_{гет}$ . Сдвигающая петля ФАП действует как следящий полосовой фильтр, настроенный на выбранную частоту канала. Такое построение тракта уменьшает широкополосный уровень шума, обеспечивая преимущество над стандартным подходом с преобразованием вверх, где для уменьшения шума боковой полосы потребовалось бы применить дополнительный фильтр и дуплексер.

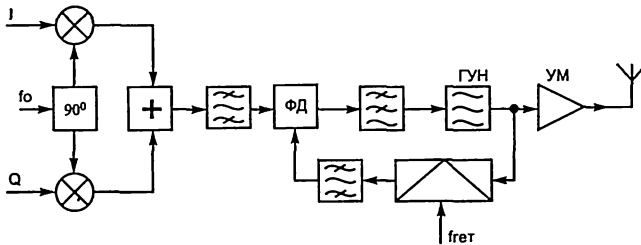


Рис. 8.31. Архитектура передатчика с модуляцией опорного сигнала

Данная архитектура проста, имеет малое энергопотребление и может быть использована при разработке РЧ блоков с высокой степенью интеграции. Узкополосная фильтрация, обеспеченная петлями ФАПЧ, устраняет необходимость в применении внешних полосовых фильтров. Эта архитектура подходит только для методов модуляции с постоянной огибающей и требует дополнительных аппаратных затрат, так как для получения опорной частоты  $f_0$  и  $f_{гет}$  в структуре используются два отдельных ГУН. В данной структуре возможно возникновение затягивания частоты ГУН по входу, что требует лучшей развязки гетеродинов и УМ.

Имеется множество способов формирования модулированной опорной частоты. Один из них — должен использовать квадратурную модуляцию в петле непосредственно [20]. Это минимизирует фазовую вариацию сигнала, так как на входе частотно-фазового детектора применяется постоянная опорная частота. В настоящее вре-

мя достигнуто практическое использование прямого цифрового синтеза ПЦС (*Direct Digital Synthesis, DDS*) на рабочих частотах в сотнях МГц. Структура тракта передачи, основанного на петле ФАПЧ с использованием ПЦС и введением модуляции в тракте опорного сигнала, приведена на рис. 8.32.

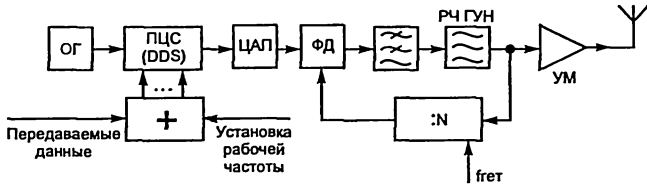


Рис. 8.32. Архитектура передатчика с использованием ПЦС в опорном тракте

### Использование дробного коэффициента деления

Использование метода дробного деления (*fractional-N method*) для синтеза частот достаточно широко применяется в СЧ, предназначенных для использования в устройствах мобильной связи. Дробное деление позволяет получить малый шаг по частоте на выходе передатчика при использовании высокого значения опорной частоты. Это позволяет улучшить шумовые характеристики и уменьшить время установления в петле ФАПЧ, улучшая быстродействие передатчика. Если коэффициент деления в петле приведения таких СЧ изменять в соответствии с законом модуляции, то может быть получена частотная модуляция выходного сигнала.

Дальнейшее улучшение шумовой характеристики побочной составляющей без уменьшения полосы петли ФАПЧ может быть получено при использовании фазовой интерполяции (*phase interpolation*), инъекцию джиттера (*jitter injection*) или методов формирования шума (*noise shaping techniques*) [97—99].

На рис. 8.33 показана архитектура передатчика, основанного на методе дробного деления (*Fractional-N up-conversion*). Информационные данные сначала фильтруются цифровым Гауссовским фильтром с конечной импульсной характеристикой FIR (*finite impulse response*). Затем сигнал суммируется со значением коэффициента деле-

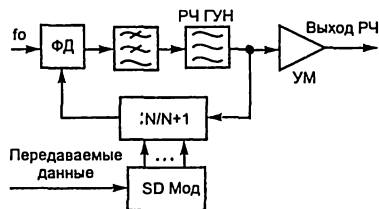


Рис. 8.33. Использование метода дробного деления в тракте передачи

ния, необходимого для установки номинала несущей частоты. Этот сигнал подается на вход сигма-дельта SD модулятора, выходной сигнал которого изменяет коэффициент деления делителя с изменяемым на единицу коэффициентом деления (*dual modulus divider*)  $N/N+1$  в петле ФАПЧ.

Таким образом, свободный от побочных составляющих выходной сигнал получается добавлением псевдослучайной составляющей в значение коэффициента деления (*dithering the division ratio*). Затем сигнал усиливается до необходимого уровня. SD модулятор и делитель с изменяемым на единицу коэффициентом деления производят подавление шума в информационном тракте. Шум квантования перемещается в область высоких частот и далее уменьшается полосой петли ФАПЧ, которая является по своему характеру ФНЧ. Мгновенная выходная частота может варьироваться, если поток битов на вход SD модулятора промодулирован во времени.

Отсутствие в структуре смесителей или цифро-аналоговых преобразователей, делает ее очень привлекательной для использования в маломощных передатчиках с высокой степенью интеграции. Этот тип архитектуры может быть использован только для формирования сигналов с постоянной огибающей. Однако описанная архитектура требует, чтобы полоса петли ФАПЧ была большей, чем ширина полосы модулирующих частот.

### Использование цифровой ПЧ

Развитие техники и технологии цифровых ИС привело к тому, что модуляция, перенос по частоте и фильтрация сигналов, осуществляемые в каскадах ПЧ, могут производиться в цифровой области [100, 104]. В каскадах с цифровой ПЧ (*Digital IF receiver*) происхо-

дит оцифровывание сигнала ПЧ (рис. 8.34). В качестве ПЧ гетеродина используется прямой цифровой синтезатор частот DDS (*Direct Digital frequency Synthesizer*) называемый иногда генератором с программным или цифровым управлением NCO (*Numerically Controlled Oscillator*). Более подробно эти СЧ будут рассмотрены в соответствующем разделе. Это устройство реализовано полностью с использованием цифровой техники. Генератор формирует цифровые выборки двух синусоидальных сигналов с точным сдвигом по фазе на 90 градусов, создавая сигналы косинуса и синуса.

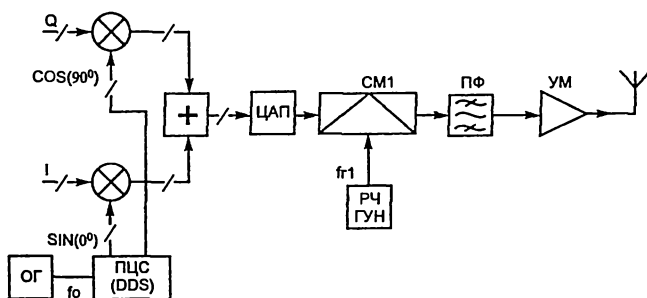


Рис. 8.34. Использование в тракте передачи цифрового квадратурного модулятора

Важно иметь в виду, что интенсивность формирования выходных выборок синусоиды всегда определяется опорной частотой  $f_s$ , независимо от номинала генерируемой частоты. Номинал выходной частоты изменяется путем изменения величины приращения (увеличения) фазы на выборку (*phase advance per sample*). Малое приращение фазы на выборку соответствует низким частотам, большое приращение — высоким частотам. Величина приращения фазы на выборку прямо пропорциональна выходной частоте и программируется от 0 до  $f_s/2$ .

## Типовая структура современного РЧ блока

При реализации РЧ блоков, в том числе многомодовых и многодиапазонных, фирмы-производители интегральных схем до настоящего момента отдают предпочтение структурам с использованием

одной промежуточной частоты, как в тракте передачи, так и в тракте приема. Укрупненная структура такого РЧ блока представлена на рис. 8.35.

Эти же структуры предполагается использовать в РЧ блоках устройств систем третьего поколения. В тех случаях, если изготовители указывают рекомендуемые номиналы промежуточных частот, они составляют для тракта приема 210,38 (210,48) МГц в режиме CDMA и 85,38 (85,48) МГц в других вариантах использования. Наиболее часто встречающееся рекомендуемое значение промежуточной частоты тракта передачи равно 130,38 МГц, в некоторых вариантах встречается значение 165 МГц. Практически во всех структурах РЧ блоков используется значение опорной частоты ТХСО, равное 19,68 МГц. Перестройка РЧ блока по частоте осуществляется общим для трактов передачи и приема основным высококачественным генератором RF VCO, управляемым синтезатором частоты PLL. Формирование опорных сигналов трактов ПЧ приемника и передатчика с одновременным осуществлением дуплексного сдвига по частоте происходит с помощью отдельных генераторов Rx VCO и Tx VCO. Частоты этих генераторов также стабилизируются с помощью вспомогательных петель автоподстройки частоты.

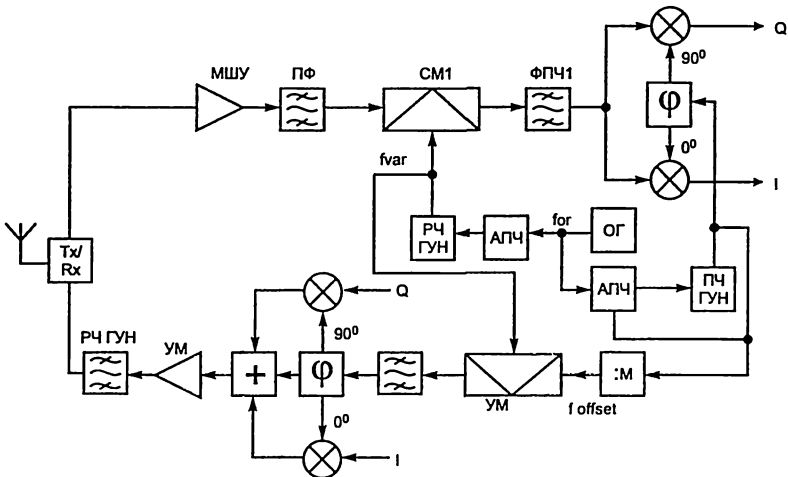


Рис. 8.35. Типовая структура современного РЧ блока

Наиболее часто используемая структура РЧ блока DECT и ее отдельные блоки уже были представлены ранее на рис. 8.3, 8.11, 8.12, 8.26, 8.27. В тракте приема такого блока используется архитектура с одним преобразованием сигнала, в тракте передачи — прямая модуляция с удвоением частоты. Однако в последнее время ряд компаний-производителей начали использовать в своих изделиях и другие разновидности архитектуры трактов приема и передачи. Необходимость этого продиктована все более интенсивное использование стандарта DECT в различных системах передачи цифровой информации. Значительный толчок к использованию новых видов архитектуры в технике DECT дало также применение стандарта в диапазоне 2,4 ГГц. Для этих приложений необходимы РЧ блоки, обладающими лучшими характеристиками, в частности, более высоким быстродействием.

## Пассивные элементы РЧ блоков

Зачастую именно используемые в РЧ блоках пассивные элементы определяют размеры, стоимость и РЧ характеристики приемопередатчиков беспроводных систем связи, поэтому важен их оптимальный выбор. Однако, так как размер и стоимость активных устройств продолжают уменьшаться, важность совершенствования характеристик пассивных устройств и уменьшения их размера становится все более важной и срочной. Многие из этих элементов трудно, или вообще невозможно разместить внутри корпуса ИС. К таким элементам можно отнести дуплексеры (*Duplexer*), ответвители (*Coupler*), устройства защиты передатчиков (*Isolator, Circulator*), фильтры (*Filter*), резонаторы, ключи, катушки индуктивности и конденсаторы (рис. 8.36).

Входной полосовой фильтр (*Front-end filter, RX Bandpass Filter*) тракта приема подавляет все внеполосные шумы и сигналы, предотвращая перегрузку предварительного малошумящего усилителя. Влияние побочных каналов приема, особенно зеркального (*image frequency*), может быть существенно уменьшено дополнительным межкаскадным фильтром (*Inter-stage filter*), устанавливаемым после МШУ перед первым смесителем. В тракте приема необходимо уме-

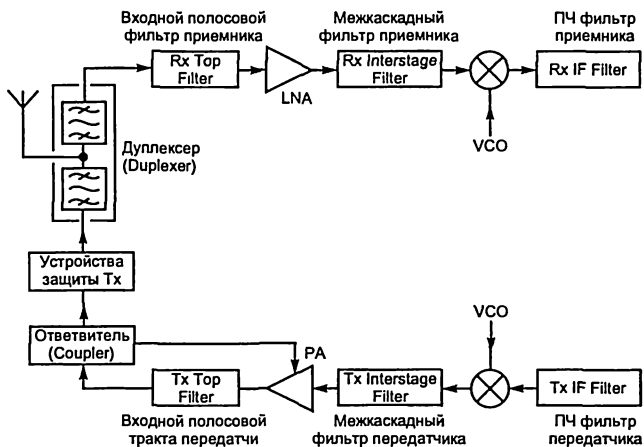


Рис. 8.36. Использование пассивных элементов в РЧ блоках

ншить влияние мешающих сигналов соседних каналов (*Adjacent channel*), производимое другими пользователями системы связи. Это выполняется с помощью ПЧ фильтра, который должен иметь высокую селективность по соседнему каналу при хорошей линейности характеристики.

В тракте передачи сигнал смешивается, фильтруется и усиливается усилителем мощности до необходимого уровня. Выходной фильтр тракта передачи (*transmit front-end filter, Top Filter*) уменьшает шум и побочные составляющие, возникающие в смесителе передатчика и в усилителе мощности из-за его нелинейности. Межкаскадный фильтр тракта передачи (*transmit interstage filter*), устанавливаемый перед усилителем мощности, позволяет подавлять шумы и нежелательные продукты преобразования раньше, чем сигнал поступит на усилитель.

Сведения о различных пассивных компонентах для РЧ оборудования ССПО можно найти на Интернет-сайтах следующих компаний-производителей:

- **Alpha Industries, Inc.** — <http://www.alphaind.com>
- **CTS Corporation** — <http://www.ctscorp.com/>
- **Ffujitsu Limited** — <http://www.fujitsumicro.com/>
- **K&L Microwave, Inc.** — <http://www.klmicrowave.com>
- **M/A-Com** — <http://www.macom.com>



- **Microtech, Inc.** — <http://www.microtech-inc.com>
- **Microwave Development Company, Inc** — <http://www.mdc-inc.net>
- **Microwave Filter Co., Inc.** — <http://www.microwavefilter.com>
- **Murata Electronics, N.A., Inc.** — <http://www.murata.com>;  
<http://www.murata.co.jp>
- **Sawtek Inc** — <http://www.sawtek.com>
- **Signal Technology Corp.** — <http://www.sigtech.com>
- **Thomson** — <http://www.microsonics.thomson-csf.com>
- **Toko** — [www.toko.com](http://www.toko.com)

### Полосовые и ПЧ фильтры

На входах РЧ блоков устройств подвижной связи применяются полосовые фильтры (*Bandpass Filter*) со следующими типовыми характеристиками:

Приложение	Центральная частота, МГц (Tx/Rx)	Ширина полосы, МГц
DECT	1890 / 1890	20
GSM	902,5 / 947,5	25
EGSM	897,5 / 942,5	35
GSM1800 (DCS)	1842,5 / 1747,5	75
GSM1900 (PCS)	1880 / 1960	60
W-CDMA	1950 / 2140	60
J-CDMA	852,0 / 906,0,	
PDC800	950,0 / 820,0	20
PDC1500	1441,0 / 1489,0	24
PCN	1747,5 / 1842,5	75
AMPS	836,5 / 881,5	25
ISM 900 (Евро)	869	
ISM 900 (Амер)	915,0	
ISM2400	2448,5	97
GPS	1575,42	75
Wireless LAN	2441,75; 2450,0; 2484,0	

Современные ПАВ фильтры имеют преимущества перед керамическими по подавлению частот гетеродина и побочных продуктов преобразования (зеркальной частоты). Другой решающий фактор — малые вносимые потери (*Insertion attenuation, Insertion loss*), типовое значение которых составляет 2—3 дБ. Благодаря чрезвычайно крутым фронтам характеристик, ПАВ фильтры позволяют достигать высокой селективности по соседнему каналу. Определяющим фактором, способствующим их широкому применению в устройствах ССПО, являются и их малые размеры. Рядом компаний-производителей разработаны ПАВ фильтры для устройств подвижной связи третьего поколения, работающих на частотах выше 2 ГГц, и для беспроводных сетей WLAN (*Wireless Local Area Network*), функционирующих в диапазоне 2,5 ГГц.

Типовое значение максимально допустимой входной мощности (*High power rating*) для РЧ ПАВ фильтров — 200 мВт (23 дБм), что позволяет использовать их в выходных каскадах тракта передачи многих ССПО. Так, например, системы беспроводных телефонов работают с небольшими выходными мощностями передатчиков. Для систем СТ1 и СТ1+ мощность ограничена величиной 12 дБм, для ISM систем — 14 дБм. Максимальная выходная мощность в системе DECT — 250 мВт, при средней мощности 10 мВт (10 дБм). При разработке устройств следует учитывать потери (*Insertion Loss*), вносимые РЧ ПАВ фильтром, которые в среднем составляют 2,5—3,5 дБ.

В настоящее время для промежуточных частот (*Intermediate Frequency*) выпускается широкий диапазон фильтров. Фильтры для профессиональных приложений выпускаются в герметичных керамических корпусах. Они имеют очень низкие вносимые потери (1,6—3 дБ), высокую температурную стабильность характеристик. Более дешевые ПАВ фильтры, выпускаемые в пластмассовых корпусах, имеют большие потери, достигающие 11—12,5 дБ. Эти изделия весьма привлекательны по соотношению цене/качество, что является важным, например, при проектировании РЧ блоков для массового рынка экономичных абонентских устройств.

При выборе архитектуры и частотного плана приемопередатчика необходимо учитывать сложившуюся практику выбора номиналов промежуточных частот, используемых в приемопередатчиках раз-

личных систем связи. Наиболее часто употребляемые номиналы этих частот приведены в таблице:

Приложение	Разнос каналов, кГц	ПЧ1, МГц	ПЧ2, МГц
CT1	25	21,4	
CT ISM		110	59; 112,32
ISM		10,7; 21,4	
AMPS	30	83; 86	0,450; 0,455
GSM	200	71; 83; 175; 200; 225; 254; 256 199 (BTS GSM)	13
GSM1800 (DCS)	200	175; 200; 225; 254; 256 199 (BTS GSM)	
GSM1900 (PCS)	200	175; 200; 225; 254; 256 199 (BTS GSM)	
DCS 1800	200	188; 254; 400	13
CDMA		85,38; 130,38; 183,6; 210,38; 220,38	
W-CDMA		120; 150; 160; 190; 380; 202,50 (BTS W-CDMA-RX); 392,50 (BTS W-CDMA-TX)	
DECT	1728	110	59; 112,32
PHS	220	248,45; 243,95	10,7

Стандартные промежуточные частоты, используемые в устройствах DECT — 110,592 и 112,32 МГц. В ранних разработках DECT приемников использовалась частота 110,592 МГц, но при этом может возникать проникновение в тракт ПЧ 6-ой или 8-ой гармоники опорного генератора с частотами 18,432 или 13,824 МГц. Поэтому при использовании ПЧ, равной 110,592 МГц, выбирают номинал опорной частоты 10,368 МГц. В том случае, если используется архитектура приемника с двойным преобразованием частоты, номинал второй ПЧ выбирают равным 10,7 или 10,368 МГц.

## Частотный план современных РЧ блоков

Выбор архитектуры РЧ блока и соответствующих частот внутренних сигналов должен производиться так, чтобы выполнялись все требования стандарта с использованием наименьшего количества компонентов, достижения низкого потребления мощности от источников питания и минимальной стоимости. При этом разработчики, как правило, решают ряд конкретных задач:

- на начальном этапе проектирования тщательно рассчитывают наличие и величины комбинационных составляющих на выходах смесителей и учитывают их влияние;
- минимизируют количество используемых в РЧ блоке синтезаторов частоты, так как эти ИС и, особенно, внешние ГУН являются достаточно дорогими;
- минимизируют диапазон перестройки ГУН для того, чтобы упростить разработку и стоимость используемых ГУН;
- минимизируют количество используемых дорогих фильтров;
- минимизируют потребляемую РЧ блоком мощность, тщательно разрабатывая режимы уменьшения энергопотребления (Standby Modes);
- выбирают правильное соотношение аппаратные средства/программные средства, учитывая энергопотребление АЦП и ЦСП;
- при расчетах всех параметров РЧ блока с некоторым запасом учитываются практические ограничения, накладываемые параметрами имеющихся в распоряжении реальных компонентов.

## Системный опорный сигнал

В РЧ блоках устройств, и даже в одном корпусе ИС с высокой степенью интеграции (*mixed signal IC*), происходит обработка смешанных сигналов — аналоговых и цифровых. В таких устройствах присутствуют РЧ сигналы нескольких ГУНов, сигналы цифровых делителей частоты, тактовые частоты АЦП и ЦАП. Для реализации высококачественного РЧ блока, способного успешно обработать все сигналы, наряду с оптимизацией частотного плана, также оптимальным образом должен быть выбран номинал основной системный

опорный частоты (*Clock*). Системный опорный сигнал получают от опорных генераторов ОГ, частоты которых стабилизированы кварцевым резонатором. Нежелательные побочные сигналы, возникающие из-за нелинейности узлов, не должны попадать в рабочие полосы РЧ или ПЧ каскадов. Получение всех необходимых сигналов от основного системного опорного сигнала должно производиться достаточно простым и гибким образом, при малой потребляемой мощности, наименьшем количестве микросхем. Кроме того, в современных много-стандартных устройствах требуется тактовая совместимость с различными другими стандартами подвижной связи.

Для надлежащего выбора номинала системной опорной частоты должны быть приняты во внимание следующие требования:

- от опорной частоты должна быть просто получаемы тактовые частоты (чиповая скорость CDMA систем);
- гармоники опорной частоты не должны попадать в ПЧ полосы пропускания трактов приема или передачи;
- тактовая частота должна быть достаточно низка, чтобы уменьшит потребляемую мощность устройств обработки тактирующих последовательностей: генераторов, делителей и умножителей частоты;
- с другой стороны, номинал опорного сигнала должен быть достаточно высоким для того, чтобы можно было использовать разумную скорость обработки информации в цифровых узлах устройства: цифровых фильтрах, ЦАП, АЦП;
- частота опорного сигнала должна быть кратна частотам сравнения фазовых детекторов используемых СЧ. При выборе номиналов этих частот кратными разносу канальных частот можно избежать применения РЧ синтезатора частот с дробным N.

Наиболее часто используемыми в РЧ блоках устройств ССПО номиналами опорной частоты являются в настоящий момент следующие: 12,0; 13,0; 19,2; 19,68; 19,8 МГц.

## 9. Схемотехника устройств DECT

### Взаимодействие РЧ и информационных блоков устройств ССПО

Как уже говорилось ранее, в приемопередающем устройстве можно выделить четыре основных тракта: приема, передачи, синтеза частот и информационный тракт (ВВ тракт).

Тракты приема, передачи и синтеза частот могут быть объединены в радиочастотный блок, в котором происходят операции преобразования, фильтрации и усиления сигналов на несущих и промежуточных частотах (рис. 9.1). Взаимодействие РЧ и информационных блоков устройств осуществляется с помощью ряда связей путем обмена сигналами различного рода через интерфейс RF/ВВ. Причем в РЧ блоке эти сигналы вырабатываются и подаются на информационный блок в аналоговой форме, а в информационном блоке они перед соответствующей обработкой преобразуются в цифровую форму с помощью специальных АЦП.

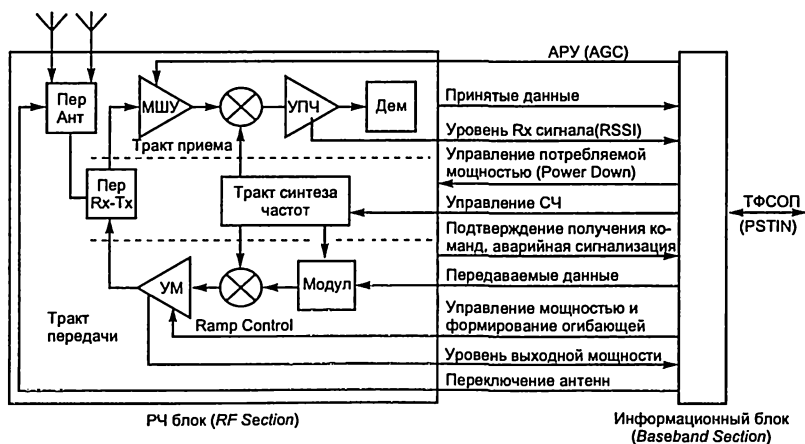


Рис. 9.1. Обобщенная структура приемопередатчика ССПО

Наиболее важные связи РЧ и информационного блоков показаны на рисунке выше и используются для осуществления следующих функций:

- **управление синтезатором частоты.** Информация о номиналах рабочих частот, как правило, хранится в ЗУ информационного тракта. При необходимости она вместе с командой о перестройке посылается в тракт синтеза частот, изменяя номиналы формируемых в нем частот;
- **автоматической подстройки частоты AFC (*Automatic Frequency Control*).**
- **подтверждение получения команд РЧ блоком, аварийной сигнализации;**
- **измерение выходной мощности передатчика (*Measurements of UE Transmitted Power*);**
- **управление выходной мощностью передатчика (*UE Transmitted Power Control*);**
- **формирование огибающей излучаемого сигнала (*Power Ramping*)** в соответствии с определенной временной маской;
- **автоматической регулировки усиления AGC (*Automatic Gain Control*)** приемного тракта;
- **измерение уровня принимаемого сигнала RSSI (*Received Signal Strength Indication*);**
- **управление потребляемой мощностью РЧ блока с целью ее уменьшения.** Для этого в информационном блоке вырабатывается ряд специальных сигналов, переводящих отдельные блоки и узлы РЧ блока в режим пониженного энергопотребления (*Power Down Mode*) на время, когда они не используются в работе устройства;
- **аварийной сигнализации.** Эта функция является особенно важной для передатчиков базовых станций в связи с необходимостью обеспечения их длительного бесперебойного функционирования. В РЧ блоке вырабатываются сигналы о возникновении возможной ошибки в функционировании базовой станции и пересылаются в информационный блок для информирования об этом. При этом ряд сигналов могут блокировать работу радиоблоков для предотвращения выхода его из строя, другие меняют режим работы узлов радиоблока с сохранением его обще-

го функционирования. Так если, например, индицируется аварийное повышение температуры усилителя мощности, то выходная мощность уменьшается для предотвращения повреждений.

## Усилители мощности РЧ блоков DECT

### Параметры усилителей мощности РЧ блоков ССПО

Параметры УМ во многом определяют характеристики, описываемые стандартами на систему подвижной связи. Однако, ряд параметров усилителя, например, его КПД, являются внутренними и они выбираются самим разработчиком.

Основными параметрами и характеристиками УМ, используемых в РЧ блоках ССПО являются:

- коэффициент усиления и его неравномерность (*Gain and flatness*);
- частотно-фазовая характеристика (*Phase*);
- групповая задержка (*Group delay*);
- потери на отражение (*Return loss*);
- коэффициент стоячей волны по напряжению КСВН (*Voltage Standing-Wave Ratio, VSWR*);
- полное входное сопротивление (*Input impedance*);
- полное выходное сопротивление (*Output Impedance*);
- выходная канальная мощность (*Output channel power*);
- занимаемая полоса частот (*Occupied bandwidth*);
- гармонические искажения (*Harmonic distortion*).

### Коэффициент полезного действия УМ

Во многих приложениях, связанных с передачей сигнала, величина мощности, потребляемой усилителем от источника питания, не является главным фактором. Однако в абонентских устройствах систем мобильной связи при использовании аккумуляторного или батарейного питания ограничения по потребляемой мощности являются определяющими. В этом случае потребляемая УМ мощность должна



быть минимизирована, чтобы увеличить время действия источников питания без подзарядки.

Идеальный УМ потребляет мощность только для осуществления передачи сообщения, т. е. отношение выходной мощности к мощности, потребляемой усилителем от источника питания, в нем равняется единице:  $P_{вых} / P_{пит} = 1$ .

Этот показатель качества работы усилителя мощности, характеризующий его эффективность, называется коэффициентом полезного действия (*Efficiency*), и характеризует эффективность преобразования усилителем энергии источника питания в выходную РЧ мощность передатчика. УМ являются основным потребителем энергии источника питания в РЧ блоке, поэтому важной задачей при разработке усилителя является оценка того, насколько эффективно УМ осуществляет это преобразование. В англоязычной литературе широко используются три различных типа КПД.

**Промышленный коэффициент полезного действия (*Drain Efficiency*)** определяется как

$$\text{КПД}_{\text{пром}} = P_{вых} / P_0,$$

где  $P_{вых}$  — РЧ мощность на выходе усилителя;  $P_0$  — мощность, потребляемая УМ от источника питания постоянного тока.

**КПД добавленной мощности или КПД суммирования мощности**, обозначаемый в англоязычной литературе как *PAE (Power Added Efficiency)* — другая мера КПД, используемая в устройствах с низким коэффициентом усиления, определяется как

$$\text{КПД}_{\text{сум}} = \text{PAE} = (P_{вых} - P_{вх}) / P_0 = (1 - 1 / G) P_{вых} / P_0,$$

где  $P_{вх}$  — входная РЧ мощность;  $G$  — коэффициент усиления по мощности устройства.

PAE является более тонким инструментом оценки эффективности УМ, он применяется при использовании низковольтного питания и для устройств с небольшими коэффициентами усиления, в которых существенная доля выходной мощности приходит от входной мощности сигнала ВЧ. Эта мера оценки эффективности более распространена в каскадах, выполняемых на ПТ, которые имеют худшие параметры по усилению, чем биполярные транзисторы.

Общий или результирующий КПД (*overall efficiency*) определяется как

$$\text{КПДрез} = P_{\text{вых}} / (P_0 + P_{\text{вх}}).$$

КПД добавленной мощности PAE и результирующий коэффициент полезного действия являются основными показателями эффективности работы УМ, так как они учитывают мощность возбуждения усилителя, используемую для получения требуемого КПД. Однако не только они характеризуют качество усилителя, но еще и такой показатель, как коэффициент усиления УМ. Общий коэффициент полезного действия может проводить различие между двумя УМ с одинаковыми промышленными КПД, но различными коэффициентами усиления по мощности. Ясно, что УМ с большим коэффициентом усиления по мощности будет более эффективным, поскольку требует меньшую мощность, затрачиваемую на возбуждение. КПД добавленной мощности PAE и общий коэффициент полезного действия КПДрез отражают данное обстоятельство, в то время как промышленный КПД — нет.

Рассмотренные выше три типа КПД используются для того, чтобы охарактеризовать эксплуатационные качества усилителя мощности. Для идеального УМ общий коэффициент полезного действия приблизительно равен единице, т. е. выходная мощность тождественно равна мощности, потребляемой от источника питания. В этом случае, потери составят 0 %. В действительности, КПД усилителя мощности не равен 100 %, особенно в области высоких частот.

### **Метод управления УМ с помощью замкнутой петли обратной связи**

Вид огибающий используемых РЧ посылок зачастую строго нормируется в ССПО соответствующими нормативными документами. Для этой цели на усилитель мощности подается отдельный сигнал для включения и выключения УМ. Усилитель мощности может управляться с помощью простейшей RC-цепи или более сложных схем. Используемый метод управления определяется изготовителем усилителя мощности.

РЧ управление выходной мощностью может выполняться с помощью замкнутой петли обратной связи (*Closed Loop Control*). Как показано на рис. 9.2, РЧ мощность считывается с выхода усилителя при использовании направленного ответвителя или емкостного делителя, и детектируется с помощью быстрого диода Шоттки. Возникающий в результате сигнал — прямое измерение пика РЧ выходное напряжение и сравнивается с опорным напряжением  $U_{оп}$  (*Reference Voltage*) в усилителе сигнала ошибки. Петля управляет коэффициентом усиления усилителя мощности через линию управления, чтобы вынудить измеряемое напряжение и опорное напряжение быть равными. Величина опорного напряжения, поступающего обычно с АЦП информационного тракта, и определяет значение выходной РЧ мощности. Управление мощностью производится с помощью изменения опорного напряжения.

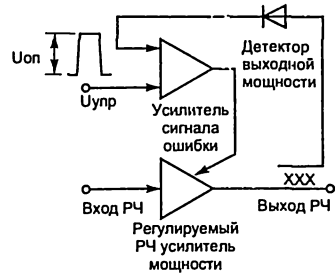


Рис. 9.2. Управление выходной мощностью передатчика в петле ОС

Основные недостатки этого подхода:

1. В устройствах связи происходит потеря выходной мощности.
2. Динамический диапазон ограничен детекторным диодом, и без компенсации составляет обычно приблизительно 20 дБ.
3. Коэффициент усиления петли может значительно измениться в динамическом диапазоне, вызывая проблемы стабильности.
4. Переходный процесс при коммутации трудно использовать для контроля и управления УМ.

### Метод изменения величины напряжения питания УМ

Альтернативный метод использует изменение величины напряжения питания РЧ усилителя мощности, чтобы управлять его выходной мощностью (*Supply Voltage Control Technique*). Напряжение на РЧ усилитель мощности подается через полевой транзистор, к затвору которого приложено выходное напряжение усилителя с постоянным коэффициентом усиления. В данной схеме выходная РЧ мощность пропорциональна величине напряжения питания усилителя

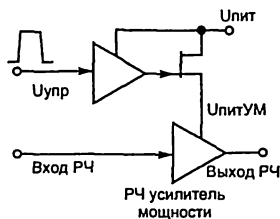


Рис. 9.3. Управление выходной мощностью

мощности  $U_{пит}$  ум. Полевой транзистор используется в схеме как повторитель, позволяющий изменять напряжение питания УМ от 0 до  $U_{пит}$  (рис. 9.3).

Управляющее напряжение  $U_{упр}$  необходимой формы для статической и динамической регулировки мощности подается на вход дополнительного усилителя. Быстродействие устройств получается очень высо-

ким, и эта методика, также известная так как высокоуровневая модуляция (high-level modulation), использовалась ранее в мощных АМ передатчиках.

Линейное соответствие между сигналом управления и выходным РЧ напряжением, имеет несколько выгод. В частности имеется лучший контроль над тремя важнейшими параметрами усилителя мощности:

1. Выходная мощность предсказуемая после простой калибровки.
2. Шаблон пакета (мощность против времени) легко имеет форму.
3. Выходные побочные составляющие, обусловленные процессом коммутации УМ, легко минимизируются.

Чтобы предсказывать точно величину выходной мощности УМ в зависимости от управляющего напряжения, характеристики передачи системы должны быть известны, для чего производят калибровку устройства. При этом достаточно произвести измерение искомой зависимости  $P_{вых} = f(U_{упр})$  для двух точек и нахождение коэффициентов соответствующего линейного уравнения.

### Схемотехника усилителей мощности

В устройствах DECT применяются усилители мощности как с использованием дискретных элементов, так и в интегральном исполнении [52—54, 67].

На рис. 9.4 приведена принципиальная электрическая схема дешевого двухкаскадного усилителя мощности PH97005 для систем DECT, имеющего коэффициент усиления по мощности 26 дБ и полный КПД лучше 40% [65]. В усилителе применены дискретные биполярные РЧ транзисторы 5-ого поколения Philips Semiconductors. Канал усиления РЧ сигнала состоит из двух транзисторных каскадов:

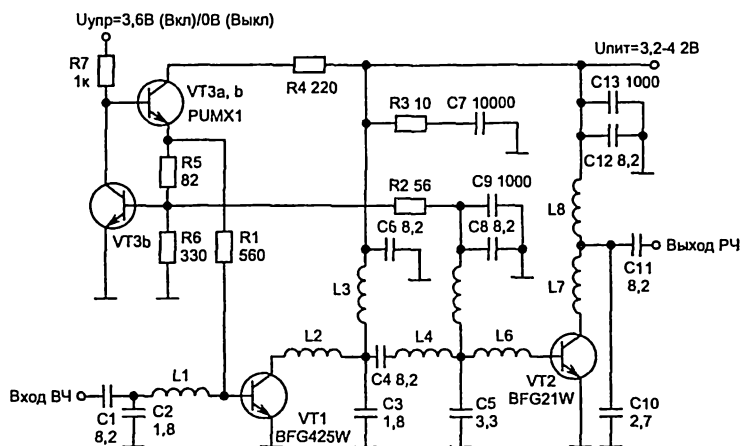


Рис. 9.4. Схема двухкаскадного усилителя мощности передатчика системы DECT

широкополосного каскада на транзисторе BFG425W (VT1), работающий в классе А, и второго — на транзисторе BFG21W (VT2), работающем в классе АВ. Усилитель содержит схему смещения на транзисторах VT3 для регулировки мощности в нагрузке и коммутации каскада. Усилитель работает от одного источника напряжения питания, и размещен на двухсторонней печатной плате размером 10 × 20 мм.

В соответствии со спецификацией DECT усилитель мощности передатчика должен плавно коммутироваться (*Power Amplifier Ramping*) с нормированными временами установления и спада выходного радиоимпульса, равными 27 мс. Соответствующая временная маска формируемого импульса приведена в разделе 4.

Формирование необходимого вида выходного импульса в устройствах DECT происходит, как правило, путем коммутации напряжения питания, подаваемого на предусилитель или УМ передатчика. Для этой цели в тракт передачи подается отдельный управляющий сигнал, формируемый в информационном тракте. Усилитель может управляться с помощью простейшей RC-цепи или более сложных схем. Используемый метод управления определяется изготовителем усилителя мощности. Выполняемые в виде ИС усилители мощности могут содержать встроенные внутрикорпусные схемы управления или же такие схемы могут быть внешними. Внешние схемы управления обычно представляют собой транзисторные ключи, коммутирую-

щие напряжение питания, подаваемое на усилитель. Встроенные схемы управления содержат ИС CGY 180 фирмы Siemens, MRFIC1806 фирмы Motorola, внешние схемы необходимы для ИС CGY2032TS фирмы Philips, LMX2119 фирмы National Semiconductor.

Схема плавной коммутации и предусилитель диапазона 1,8 ГГц (*PA Driver/Ramp*) содержатся, например, в ИС MRFIC1806 фирмы Motorola, выполненный по технологии GaAs MESFET, и используемой в системах DECT для управления ИС MRFIC1807, содержащей усилитель мощности и переключатель прием-передача. Время нарастания (*Attack Time*) и спада (*Release Time*) радиоимпульса на выходе передатчика выбирается с помощью внешних компонентов.

### **Управление потребляемой мощностью в РЧ блоках**

Существенным элементом функционирования устройств, используемых в ССПО, является использование в них динамических методов уменьшения энергопотребления. Для реализации этих методов в устройствах вырабатывается ряд специальных сигналов, переводящих отдельные блоки и узлы в режим пониженного энергопотребления (*Power Down Mode*) на время, когда они не используются в работе устройства. Кроме того, в ИС, содержащих несколько различных функциональных узлов, для управления потребляемой мощностью (*power-management*) и регулирования напряжения (*voltage-regulation*) производят секционирование этих узлов. Затем реализуются соответствующие цепи, подключаемые к выводам ИС, при подаче на которые необходимых управляющих сигналов происходит переход соответствующих узлов ИС в режим пониженного энергопотребления. Например, фирмой National Semiconductor был предложен интерфейс Agil, содержащий сигналы управления РЧ блоком.

Сигналы уменьшения потребляемой мощности приемника и передатчика и сигнал переключателя прием/передача (*switch signal*), формируются для каждого пакета, чтобы эффективно снизить энергопотребление устройства. ГУН должен быть включен для всего активного периода синхронизации (*active locked period*), в то время как система ФАПЧ выключается между пакетами.

## Модуляция в РЧ блоках

При модуляции происходит перенос передаваемой информации, которую содержит цифровой сигнал, поступающий с выхода канального кодера, на несущую частоту, т. е. модуляция РЧ несущей низкочастотным цифровым сигналом, поступающим с информационного тракта [119]. Этот процесс происходит в устройстве, называемом модулятором. Модулятор является одним из важных элементов передающего тракта устройств ССПО, а демодулятор — приемного устройства. Задачей демодулятора является обратный процесс выделения из РЧ сигнала низкочастотного цифрового сигнала, который затем подается на декодер канала информационного тракта. Эти устройства не выполняют никаких операций информационного изменения сигналов.

Широко используемая в системах подвижной связи, в частности в DECT, GSM, гауссовская частотная манипуляция с минимальным сдвигом GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keyed*), обладает очень важным свойством — формируемый РЧ сигнал имеет постоянную огибающую [111, 112]. Поэтому для его формирования могут быть использованы тракты передачи с простой архитектурой, где модулируемый ГУН включается непосредственно перед выходным каскадом УМ. В усилителях мощности при этом могут быть применены нелинейные режимы усиления, являющиеся энергетически более эффективными.

### Предмодуляционный фильтр

Исходный информационный поток двоичных символов перед поступлением на модулятор, как правило, подается на ФНЧ, обладающий заданными параметрами. При прохождении сигнала через этот фильтр, называемый обычно предмодуляционным, происходит сглаживание фронтов модулирующей последовательности, что в конечном итоге приводит к сужению спектра промодулированного сигнала (рис. 9.5). Чрезмерное уменьшение полосы фильтра приводит к еще меньшей полосе частот, занимаемой формируемым сигналом, но при этом увеличиваются и межсимвольные искажения а, следова-

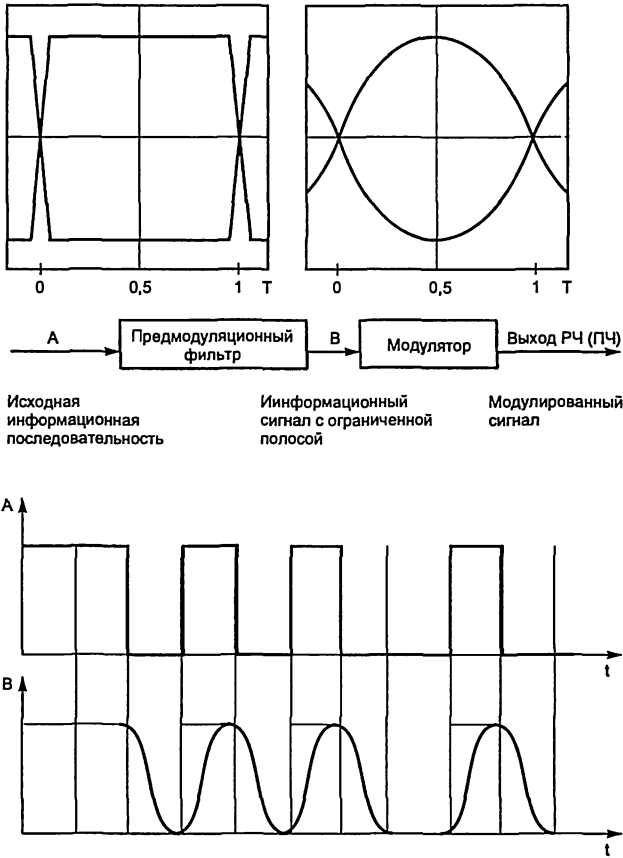


Рис. 9.5. Глазковые и временные диаграммы в тракте предмодуляционной фильтрации

тельно, возрастает реальная величина битовых ошибок при обработке такого сигнала.

Предмодуляционный фильтр принято характеризовать произведением  $BT$ , где  $B$  — ширина полосы фильтра,  $T$  — длительность битовой посылки. Величина  $BT$  для конкретных систем связи определяется соответствующими нормативными документами. Так, для систем GSM величина  $BT$  составляет 0,3, для DECT и Bluetooth — 0,5.

Для получения некоторых видов сигналов, в частности GMSK, в РЧ блоках устройств ССПО может быть использован простой моду-



лятор на основе модулируемого ГУН. В этом случае информационный модулирующий сигнал подается через предмодуляционный гауссовский фильтр непосредственно на управляющий вход ГУН. Причем, предмодуляционная фильтрация в современных устройствах связи может осуществляться в цифровом виде в информационном тракте, после чего полученный сигнал подается на ЦАП и далее на модулятор.

Такие модуляторы при  $BT = 0,5$  широко используются в РЧ блоках устройств DECT. Для получения модуляции и подстройки частоты ГУН в петле ФАПЧ могут быть использованы как один общий, так и отдельные варикапы.

Укрупненная структура приемопередатчика с использованием такой прямой модуляции, выполненного с использованием комплекта ИС AD6400 фирмы Analog Devices [5, 6], приведена на рис. 9.6.

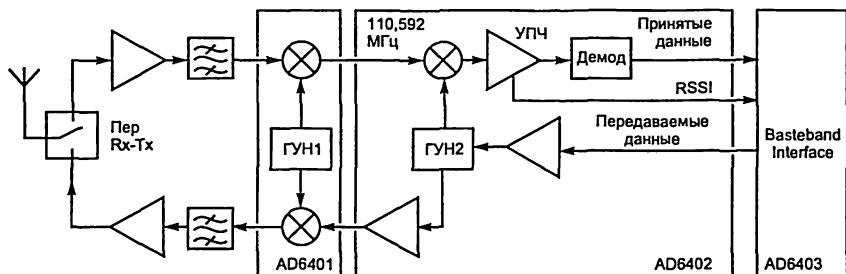


Рис. 9.6. Структура приемопередатчика DECT на основе комплекта ИС AD6400 фирмы Analog Devices

ИС тракта ПЧ AD6402 содержит смеситель тракта приема, УПЧ, демодулятор на основе петли ФАПЧ и ГУН. Второй гетеродин ГУН2, находящийся в подсистеме ПЧ приемопередатчика, служит для преобразования сигнала на вторую ПЧ, типовые значения которой лежат в диапазоне от 10 до 20 МГц.

На рис. 9.7 приведен вариант типовой схемотехнической реализации этого гетеродина с использованием отдельных варикапов в цепях АПЧ и модуляции.

В более сложных устройствах, в частности, в РЧ блоках диапазона 2,4 ГГц, могут использоваться квадратурные модуляторы.

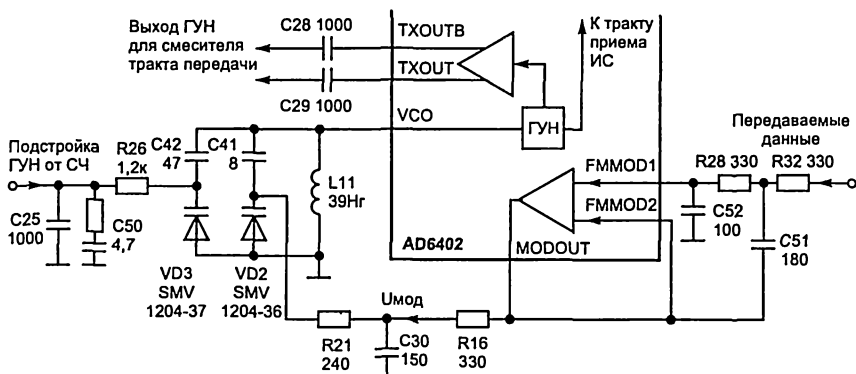


Рис. 9.7. Узел модуляции и подстройки частоты ГУН интегральной схемы AD6402

### Квадратурные модуляторы в РЧ блоках ССПО

Как уже ранее говорилось, для формирования дискретных видов модуляции в РЧ блоках современных ССПО широко применяются квадратурные модуляторы (*Quadrature Modulator*) или *I/Q (In-phase/quadrature)* модуляторы.

Квадратурный модулятор — это устройство, имеющее РЧ вход и РЧ выход и два информационных входа *I* и *Q* (рис. 9.8). РЧ сигнал может быть изображен в полярных координатах амплитудой и фазой или в декартовых координатах как величины векторов *X* и *Y*. Квадратурные опорные сигналы получают при использовании фазосдвигающего узла, формирующего два опорных ортогональных сигнала со сдвигом фазы на 90 градусов.

На входы *I* и *Q* с информационного ВВ тракта подаются две информационные последовательности, которые формируются в цифровых блоках из исходного информационного потока с помощью последовательно-параллельного преобразования. В синфазной *I* и квадратурной *Q* последовательностях скорость следования символов равна половине скорости в исходной информационной последовательности [112].

Фаза выходного сигнала перемножителя в канале *I* может иметь значения 0 или 180, в канале *Q* — 90 или 270 градусов. После суммирования этих сигналов на выходе модулятора может быть получен

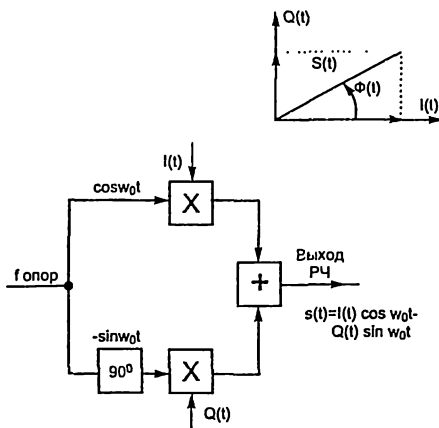


Рис. 9.8. Функционирование квадратурного модулятора

четырёхфазный модулированный сигнал. Амплитуда и полярность  $I/Q$  сигналов определяют амплитуду и фазу вектора промодулированного выходного РЧ сигнала. При отсутствии предмодуляционного фильтра изменение фазы сигнала на границах посылок происходит мгновенно, РЧ сигнал имеет постоянную огибающую. В реальных устройствах из-за применения фильтров на границах происходит изменение огибающей.

Квадратурный модулятор является универсальным устройством, позволяющим получать сигналы с различными видами аналоговой и цифровой модуляции, включая АМ, ЧМ, SSB, QAM, GMSK, BPSK, QPSK, FSK и т. д. Такие модуляторы и демодуляторы достаточно легко реализуются в интегральном исполнении, т. к. при этом легче получить двойные балансные смесители с идентичными характеристиками для минимизации разбаланса фаз и амплитуд по каналам.

Структуры и схемотехническая реализация квадратурных модуляторов для разных видов дискретной модуляции различается, но можно выделить ряд их общих характеристик и параметров:

- **вносимые потери** (*insertion loss*) в фазовом модуляторе измеряются статически в одном из четырех возможных состояний и представляют собой оценку самого плохого значения величины потерь (*worst-case loss*) для любого состояния. Типовое значение вносимых потерь для QPSK модуляторов составляет 6 дБ;

- коэффициент стоячей волны по напряжению, КСВН (*voltage standing-wave ratio, VSWR*) — мера соответствия полного сопротивления (импеданса) на входе и выходах модулятора. Этот параметр представляет рассогласование во входных и выходных полных сопротивлениях;
- разбаланс амплитуд (*amplitude unbalance*) — для демодулятора определяется как различие по мощности синфазных I и квадратурных Q сигналов. Иными словами, это степень неидентичности амплитуд синфазного и квадратурного каналов на выходе модулятора. Разбаланс амплитуд = PI [дБм] – PQ [дБм];
- разбаланс фаз (*Phase unbalance*) — мера отклонения фактического сдвига фазы относительно желательного положения фазы сигнала в любом из возможных состояний фазы. Он измеряется относительно опорной частоты или нулевого положения фазы. Иначе говоря, это отклонение фазы от 90 градусов между I и Q выходными сигналами;
- однодецибелная точка компрессии (*1 dB compression point*) — уровень входного РЧ сигнала, при котором график амплитудной характеристики устройства отклоняется от прямой линии на 1 дБ. При линейном увеличении уровня РЧ сигнала на входе устройства, сигнал на выходе также должен увеличиваться линейно. Однако, из-за нелинейного поведения устройства, после некоторой точки, названной однодецибелной точкой компрессии, увеличение уровня выходного сигнала идет с меньшей скоростью до тех пор, пока уровень выходного сигнала не становится постоянным;
- подавление несущей частоты (*Carrier rejection*) показывает уменьшение амплитуды нежелательной несущей частоты на выходе. Чем выше уровень подавления, тем лучше качества модулятора;
- подавление боковой полосы (*Sideband Rejection*) характеризует ортогональность и равновесие амплитуды сигналов модулятора/демодулятора;
- подавление гармоник сигнала (*harmonic suppression*) показывает степень подавления гармоник сигналов  $mfc \pm nfoп$ , при этом наиболее важно подавить гармоники третьего и пятого по-

рядков, так как они расположены очень близко к желательной боковой полосе, и их почти невозможно отфильтровать;

- **потери преобразования (*conversion loss*)** — для модулятора определяются так:

$$C \text{ (дБ)} = P_{\text{вх}}(I + Q) - P_{\text{рч.вых.}},$$

где  $P_{\text{вх}}(I+Q)$  — мощность сигнала  $(I+Q)$  на входе модулятора;  $P_{\text{рч.вых.}}$  — мощность РЧ преобладающей боковой полосы на выходе модулятора.

Для демодулятора они определяются так:

$$C \text{ (дБ)} = P_{\text{рч.вх}} - P_{\text{вых}}(I+Q),$$

где  $P_{\text{рч.вх}}$  — мощность РЧ сигнала на входе демодулятора;  $P_{\text{вых}}(I+Q)$  — мощность  $I+Q$  сигнала на выходе демодулятора;

- **межвходовая изоляция (*Port-to-port isolation*)**. Этот параметр характеризует качество развязки между входами  $I$  и  $Q$  модулятора;
- **смещение постоянной составляющей (*DC offset*)**. Это значение постоянной составляющей напряжения на выходе модулятора/демодулятора, характеризует степень разбаланса модулятора/демодулятора, т. е. неидентичность синфазного и квадратурного трактов.

## Оценка качества модуляции

Для оценки качества сформированного в передатчике сигнала, в частности качества модуляции, учета влияния тракта передачи в целом и отдельных его функциональных узлов на качество промодулированного сигнала могут быть использованы различные методы [114—119].

### Глазковые диаграммы

Одним из наиболее распространенных методов оценки качества модуляции является использование глазковых диаграмм (*Eye diagram*). При этом наблюдатель должен просматривать временную диаграмму сигнала при периодической развертке по времени и синхро-

низации процесса исходной информационной последовательностью. Длительность развертки устанавливается равной одному или нескольким символам информационной последовательности. Глазковые диаграммы отображают зависимости амплитуд  $I$  и  $Q$  от времени с бесконечным повторением. Сигнал хорошего качества имеет широкие открытые глазки с не размытыми, компактными точками пересечения.

На рисунке 9.5 приведены глазковые диаграммы для сигналов на входе и выходе предмодуляционного фильтра. Могут быть сгенерированы отдельные глазковые диаграммы: одна для данных  $I$ -канала и другая для данных  $Q$ -канала. QPSK имеет четыре отличных состояния  $I/Q$ , по одному в каждом квадранте. Имеются только два уровня для сигнала  $I$  и два уровня для  $Q$ , они формируют одиночный глазок для каждого  $I$  и  $Q$ .

### Решетчатые диаграммы

Решетчатые диаграммы (*Trellis diagrams*), называемые иногда в отечественной литературе фазовыми траекториями — это еще одна форма представления модулированного сигнала во временной области. Эта диаграмма называется решетчатой, потому что походит на садовую решетку.

На решетчатой диаграмме по оси  $X$  отображается время, по оси  $Y$  — фаза символа (рис. 9.9). Это позволяет оценить общую картину

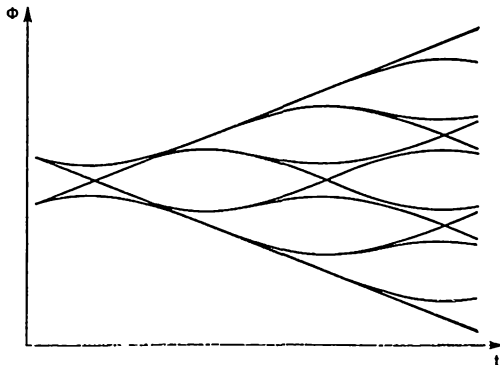


Рис. 9.9. Решетчатая диаграмма для системы GSM

фазовых переходов для различных символов. Если на модулятор подается длинная серия двоичных «1», в формируемом сигнале будет осуществляться серия положительных переходов фазы. Для сигнала GSM эти переходы будут составлять 90 градусов на символ. При передаче серии двоичных нулей, будут происходить отрицательные переходы фазы на 90 градусов на символ. При поиске неисправностей решетчатые диаграммы полезны для обнаружения пропуска фазовых переходов (*missing transitions*), пропуска кодов (*missing codes*), слепой ячейки (*blind spot*) в I/Q модуляторе или алгоритме отображения (*mapping algorithm*) [111].

### Диаграммы сигнальных созвездий

Прямоугольная I/Q диаграмма — полярная диаграмма представления амплитуды и фазы. Двумерная диаграмма амплитуды и фазы несущей (стандартный полярный график) может быть представлен по-другому.

Фазовая диаграмма (*Polar Diagram*) показывает несколько символов одновременно. То есть она показывает мгновенное значение несущей частоты в любой точке, непрерывно и включая символ времени, представляемые как I/Q или значения амплитуды и фазы.

Диаграмма сигнального созвездия (*Constellation diagram*) показывает повторяющийся «кадр» того же самого пакета, но оценивает его только в основных точках принятия решения (*decision point*). Она показывает ошибки фазы и ошибки амплитуды сигнала только в этих точках.

Пример, показанный ниже на рис. 9.10, это  $\pi/4$  дифференциальная квадратурная фазовая модуляция со сдвигом  $\pi/4$  DQPSK (*Differential Quadrature Phase Shift Keying*).

Поведение сигнала во время переходов между точками принятия решения влияют на передаваемую ширину полосы частот. Этот график показывает динамику несущего сигнала, но не показывает явно ошибки в основных точках. Диаграммы сигнального созвездия обеспечивают понимание изменения уровня мощности, эффектов фильтрации и других явлений типа межсимвольной интерференции.

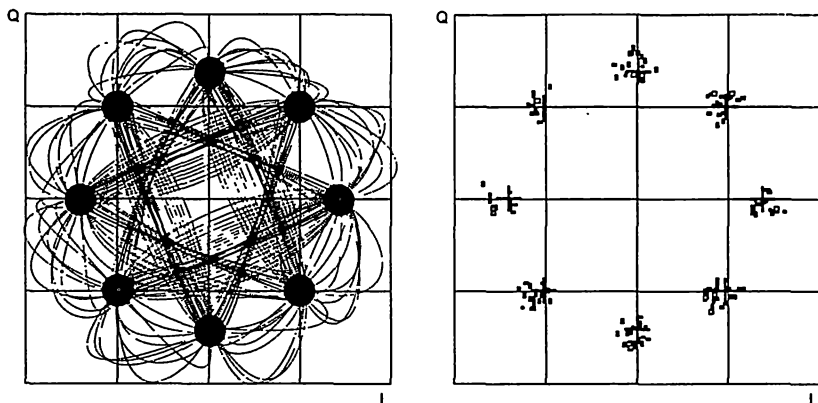


Рис. 9.10. Фазовая диаграмма и сигнальное созвездие для DQPSK сигнала при наличии шума

### Влияние полосы предмодуляционного фильтра

На рис. 9.11 приведены фазовые диаграммы, иллюстрирующие эффект влияния ширины полосы предмодуляционного фильтра на поведение формируемого сигнала [119].

Если радиоустройство не имеет никакого фильтра, как показано на левой диаграмме, переходы между состояниями мгновенны. Для передачи такого сигнала теоретически требуется бесконечно широкая полоса частот. Фильтры с коэффициентами ВТ = 0,75 и 0,3 сглаживают переходы и сужают необходимую для передачи полосу частот.

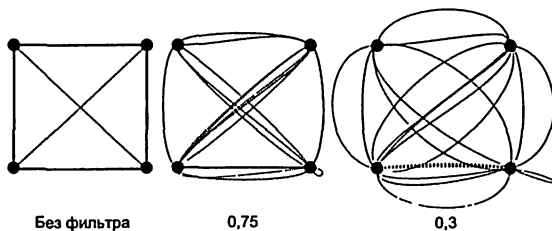


Рис. 9.11. Влияние величины полосы частот предмодуляционного фильтра на фазовую диаграмму QPSK сигнала



Различные коэффициенты ВТ фильтра также влияет на величину выходной мощности передатчика. В случае нефильтрованного сигнала максимальная или пиковая мощность несущей такая же, как номинальная мощность в момент передачи символа (*symbol states*). Никакая дополнительная мощность, обусловленная фильтрацией, не нужна.

### Влияние неидеальности квадратурных каналов I/Q

В аналоговом IQ модуляторе может возникать разбаланс коэффициента усиления (*Gain Imbalance*) и фаз (*Phase Imbalance*) по квадратурным каналам, а также появление смещения постоянной составляющей (*DC offsets*). Эта неидеальность квадратурного устройства искажает вид формируемого сигнального созвездия. На рис. 9.12 показано, как эти явления воздействуют на формируемое сигнальное созвездие. Особенно нежелательным является проявление амплитудного и фазового разбаланса в квадратурных каскадах с подавлением нежелательных компонент, так как это приводит к резкому увеличению уровня подавляемых компонент на выходе каскада. При необходимости для устранения этих явлений могут быть применены аналоговые и цифровые методы калибровки и адаптации, основанные на использовании ЦСП, описанные, например в [118].

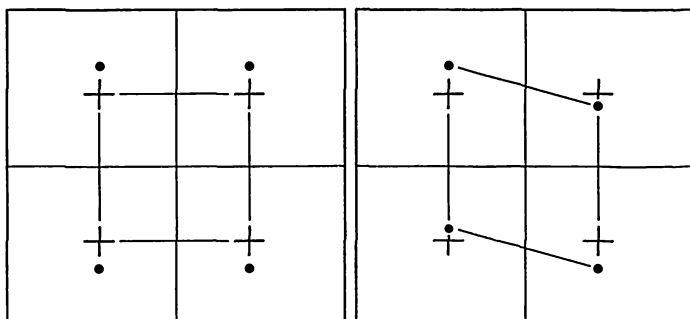


Рис. 9.12. Влияние разбаланса коэффициентов передачи и фазы каналов IQ модулятора на вид фазового созвездия

### Влияние качества сигнала синтезатора частоты

Фазовый шум гетеродина вносится одновременно в I и Q каналы, что приводит к случайным вращениям диаграммы созвездия вокруг центральной точки. Рис. 9.13, а показывает диаграмму созвездия для QPSK-сигнала, когда среднеквадратичная ошибка фазы составляет около 5 градусов.

Эффект влияния побочной составляющей в спектре синтезатора на качество промодулированного сигнала зависит от частотной расстройки побочного сигнала по отношению к частоте синтезатора. Внутриканальный побочный сигнал смещает положение символов в созвездии на окружность, расположенную вокруг их стационарного положения, и вызывают ухудшение коэффициента BER [114]. Радиус сдвига символов зависит от отношения сигнал/помеха.

Синусоидальная побочная составляющая проявляется появлением круга вокруг одной из точек созвездия. Радиус круга пропорционален амплитуде мешающего сигнала, но эта форма просмотра не содержит никакой информации относительно частоты помехи, которая может быть ключом к идентификации причины возникновения ухудшения работы устройства. На рис. 9.13, б приведена диаграмма созвездия QPSK-сигнала при воздействии побочного сигнала с уровнем примерно  $-20$  дБн.

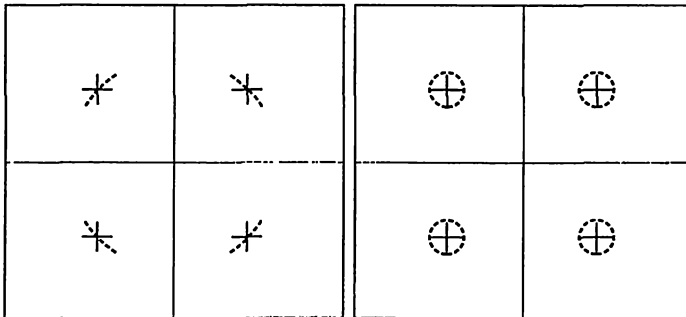


Рис. 9.13. Влияние качества опорного сигнала

## Тракт синтеза частот устройств DECT

Для формирования опорных частот, необходимых для обработки сигналов в РЧ блоке, используют генераторы (*Local Oscillators*), частоты которых стабилизируются с помощью синтезаторов частот.

### Основные сведения о синтезаторах частоты

В тракте синтеза частот осуществляется процесс получения одного или нескольких колебаний требуемых номиналов путем преобразования опорных частот, называемый обычно синтезом частот. Для этого используются операции сложения, вычитания, деления и умножения частот. Эти операции производят соответственно с помощью делителей частоты, умножителей частоты и сумматоров частот. Очень часто умножение частоты осуществляют с помощью петель автоподстройки частоты (*Phase-Locked Loop, PLL*), состоящих из управляемого напряжением генератора ГУН, фазового или частотного детекторов ФД и делителя частоты на  $N$ .

В РЧ блоках устройств подвижной связи, как правило, используется один, общий для всех синтезаторов частоты системный высококачественный опорный сигнал (*Clock*), получаемый от стабилизированного кварцевым резонатором опорного генератора ОГ. В таких генераторах, особенно в стационарных радиоблоках больших систем, часто используются кварцевые генераторы, управляемые напряжением (*Voltage Controlled Crystal Oscillator, VCCO*) или высокостабильные термокомпенсированные кварцевые генераторы (*Temperature-compensated Crystal Oscillator, TCCO*).

Если устройство синтеза частот выполняется в виде функционально законченного блока или прибора, его называют *синтезатором частот СЧ (Frequency Synthesiser)*. В том случае, если в ССЧ используется одна опорная частота, она называется *одноопорной*. Именно одноопорные ССЧ получили наибольшее распространение в устройствах радиосвязи. Сигнал опорной частоты получают от высококачественных генераторов, имеющих повышенную стабильность, называемых *опорными генераторами ОГ (Reference oscillator)*. СЧ, формирующий на выходе в каждый момент времени только одно колебание определенного номинала, будем называть *одночастотным синтеза-*

тором (ОЧС). Устройство, позволяющее сформировать несколько выходных колебаний различных номиналов одновременно, называют *многочастотным синтезатором* (МЧС). Как правило, одночастотные СЧ имеют один выход, многочастотные — несколько (рис. 9.14).

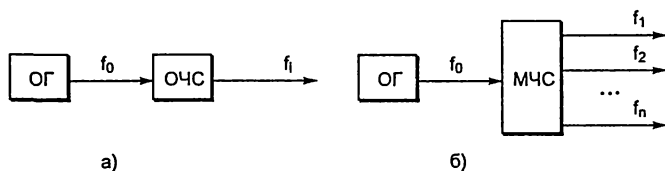


Рис. 9.14. Одночастотный (а) и многочастотный (б) синтезаторы частот

Совокупность значений частот, которые могут быть получены на выходе СЧ, принято называть *сеткой частот*. Минимальный интервал  $F$  между соседними частотами, формируемыми в СЧ, называют *шагом сетки частот* (*Frequency Step Size*). Если шаг между всеми выходными частотами, которые могут быть получены в СЧ, одинаков, говорят, что синтезатор предназначен для создания *сетки эквидистантных частот*.

Все системы синтеза частот делят на две группы: системы активного (косвенного) и системы пассивного (прямого) синтеза. *Системами активного (косвенного) синтеза* называют системы синтеза частот, в которых фильтрация колебания синтезируемой частоты осуществляется с помощью колец фазовой автоподстройки частоты или компенсационного кольца. В *системах пассивного (прямого) синтеза* получение выходных частот производится без применения колец АПЧ.

Основным *достоинством* систем пассивного синтеза частот является их высокое быстродействие. В аналоговых системах быстродействие ограничивается инерционностью применяемых узлов, в цифровых — быстродействием цифровых ИС.

Наиболее существенным *недостатком* рассматриваемых синтезаторов является наличие в выходном сигнале побочных составляющих. В аналоговых системах они возникают при выполнении всех операций преобразования частот, в цифровых системах побочные составляющие принципиально могут возникать на всех этапах получения выходного сигнала.

Системы синтеза частот можно разделить на две группы: системы, выполняемые на аналоговой элементной базе (*аналоговые ССЧ*) и системы, выполняемые на цифровой элементной базе (*цифровые ССЧ*). Идеология выполнения ССЧ в этих двух группах и основные их характеристики сильно отличаются. Цифровые ССЧ обладают более высокой технологичностью, могут быть выполнены в виде ИС, обладают лучшими массогабаритными показателями. Основным фактором, сдерживающим широкое распространение цифровых ССЧ, является не достаточно высокое быстродействие современных цифровых ИС, ограничивающее верхнюю границу частотного диапазона синтезаторов. Однако, по мере улучшения технологии цифровых ИС, повышения их быстродействия, доля цифровых СЧ среди систем синтеза увеличивается.

### Синтезаторы частот, выполненные по методу активного синтеза

В системах подвижной связи, и DECT в частности, используют, в основном, цифровые СЧ, выполненные по методу активного синтеза.

В них выходная частота генератора, управляемого напряжением ГУН (*Voltage Controlled Oscillator, VCO*), являющаяся и выходной частотой СЧ, подается на *делитель частоты* с коэффициентом деления  $N$  (рис. 9.15). Выходная частота делителя  $f_{cp}$ , номинал которой в  $N$  раз меньше, чем номинал  $f_{вых}$ , подается на один из входов устройства сравнения УС. На другой вход устройства сравнения подается сигнал опорного генератора с частотой  $f_0$ . В качестве устройства сравнения используется, как правило, фазовый детектор ФД или частотный детектор ЧД.

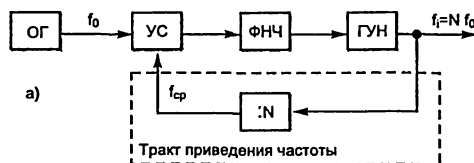


Рис. 9.15. Цифровой СЧ, выполненный по методу активного (косвенного) синтеза

Устройство сравнения вырабатывает управляющий сигнал, величина которого пропорциональна разности частот  $f_0$  и  $f_{cp}$ . Управляющий сигнал через фильтр нижних частот ФНЧ, необходимый для фильтрации этого сигнала и обеспечение устойчивости работы синтезатора, подается на вход ГУН и производит подстройку частоты  $f_{вых}$ . В работающем синтезаторе обычно устанавливается режим, при котором  $f_{cp} = f_0$ , тогда номинал выходной частоты:  $f_{вых} = N f_{cp} = N f_0$ .

Частота  $f_{cp}$ , подаваемая на устройство сравнения, называется *частотой сравнения*. Узлы, в которых происходит преобразование выходной частоты синтезатора в частоту сравнения, образуют *тракт приведения частоты*.

Типовая структура СЧ, предназначенного для использования в системах мобильной связи и выполненного в виде специализированной ИС, представлена на рис. 9.16.

Интегральная схема содержит опорный генератор ОГ, фазовый детектор ФД (*phase detector*), делители опорного тракта (*Reference divider*) и тракта приведения (*Prescaler/VCO divider*) и два запоминающих устройства ЗУ, в которых содержится информация об устанавливаемых коэффициентах деления  $K$  и  $N$ . Для реализации СЧ необходимо подключить на выход ФД устройство фильтрации ФНЧ или петлевой фильтр (*Loop filter*) и ГУН. Конкретная схемотехническая и конструктивная реализация этих узлов СЧ сильно зависят от диапазона выходных частот синтезатора, требований, предъявляемых к ка-

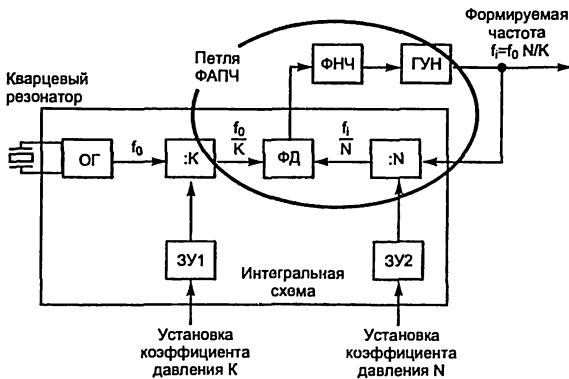


Рис. 9.16. Типовая структура СЧ, выполняемого в виде ИС

честву выходного сигнала СЧ, быстродействия, стоимости и других показателей качества устройства. В связи с этим ФНЧ и ГУН, как правило, не размещают внутри ИС. Внешним элементом является также и кварцевый резонатор (КР), имеющий по сравнению с корпусом ИС значительные размеры. Выбор номинала КР также зависит от параметров выходного сигнала СЧ.

### Быстродействие синтезаторов частоты

В системах TDMA время, необходимое синтезатору для перестройки на новую несущую частоту, определяет возможность приемопередатчика работать в соседних таймслотах на различных несущих. Если бы СЧ мог перестраиваться с одной частоты на другую за время, меньшее, чем длительность защитного интервала в системе, то прием и передача могли бы происходить без потери информации в каждом таймслоте.

Портативная часть, приняв информацию в любом таймслоте, используемом базовой станцией, должна быть способна передавать или принимать на любой частоте в любом слоте, не являющимся смежным со слотом, который используется в портативной части. Это означает, что приемопередатчик с одночастотным синтезатором должен перестроиться с одной несущей частоты на любую другую за время меньшее, чем длительность одного таймслота, т. е. за 416,7 мкс. Если синтезатор отвечает этому требованию, но не может успеть изменить значение несущей частоты внутри защитного интервала между слотами, устройство будет иметь ряд недоступных временных слотов, называемых обычно слепыми слотами (*blind slots*). В слепых слотах, непосредственно примыкающим к уже занимаемым, устройство не способно использовать любые другие несущие частоты, что иллюстрирует рис. 9.17.

Точное время, необходимое для перестройки СЧ, зависит от ряда внутренних параметров СЧ, в частности, от ширины полосы пропускания петлевого фильтра.

Для перестройки с одной частоты на другую обычному синтезатору может потребоваться несколько миллисекунд, в то время как защитный интервал каналов стандарта DECT имеет величину порядка 50 микросекунд. В профиле GAP стандарта DECT определено, что

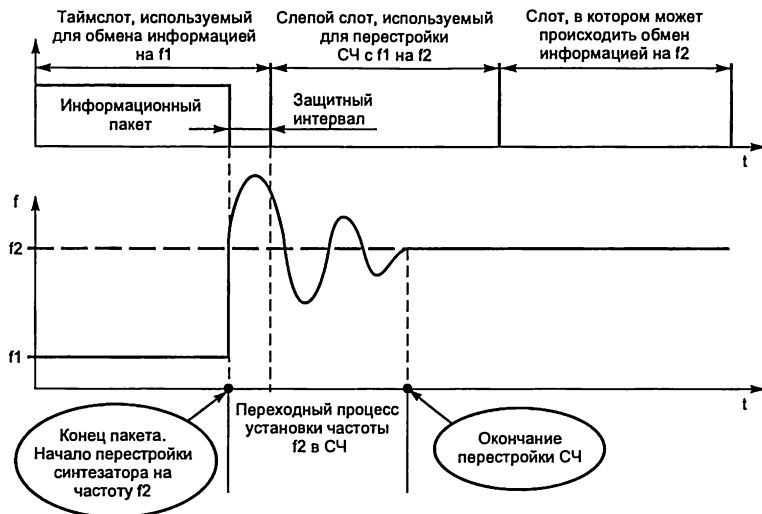


Рис. 9.17. Механизм образования слепых слотов

стационарные части должны быть способны принимать информацию, по крайней мере, в 6 из 12 таймслотов. На рис. 9.18 показано образование слепых слотов при связи с тремя портативными устройствами. Занятые слоты, используемые в данном примере, отмечены на рисунке кружком.

Отметим здесь еще один механизм образования слепых слотов, непосредственно не связанный с качеством СЧ. Стационарная часть, имеющая только один приемопередатчик, не может прослушивать две различные частоты на одном слоте одновременно, что дополнительно приводит к появлению ряда слепых слотов, отмеченных на рис. 9.18 знаком «минус». В силу этого нельзя однозначно предполагать, что свободный слот, найденный портативной частью на определенной несущей частоте, может быть использован для связи со стационарной частью. Ведь базовое устройство уже может использовать этот слот на другой несущей частоте. Для устранения этой проблемы, стационарная часть передает по радиоканалу список неслепых пар слотов, которые она может использовать.

Рассмотренные механизмы образования слепых слотов приводят к существенному ограничению емкости системы, уменьшению эффективности работы механизмов, улучшающих функционирование



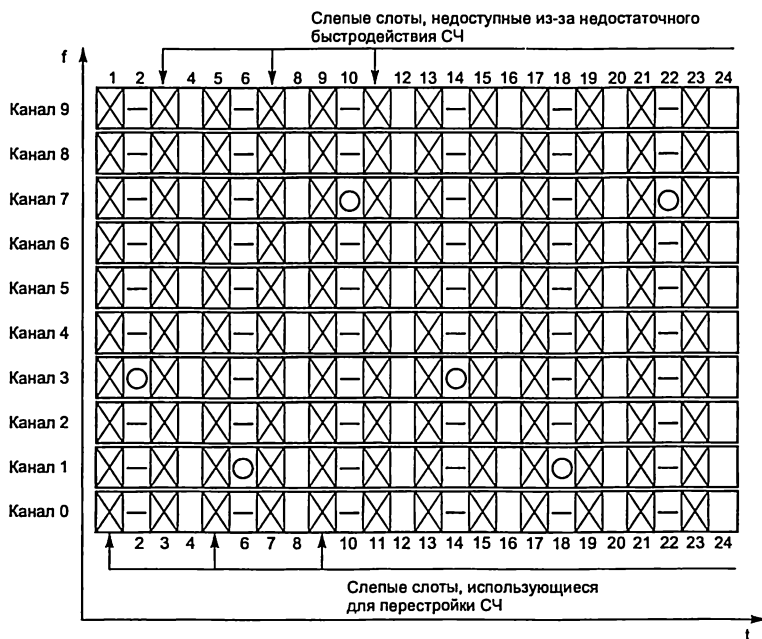


Рис. 9.18. Образование слепых слотов в DECT PC блоке с одним синтезатором частот

системы DECT в условиях воздействия помех. При занятии стационарной частью трех пар слотов для установления новых соединений или хендвера потенциально могут быть использованы оставшиеся 117. Однако, как показано на рис. 9.18, стационарной части с недостаточно быстродействующим синтезатором частот в этом случае доступны лишь 44 таймслота. В системе с одной сотой это может и не стать проблемой, но в многосотовой системе многие из каналов будут использоваться в соседних сотах и таким образом также окажутся недоступными. Если же рядом развернута другая система DECT, и не произведена межсистемная синхронизация, количество пригодных для использования каналов может быть резко ограничено, и использование в устройствах DECT быстродействующих синтезаторов частоты становится совершенно необходимым требованием.

Чтобы приемник или передатчик могли использовать различные несущие частоты в соседних таймслотах, необходимо применить в

устройстве или быстродействующий синтезатор с малым временем переключения, или два обычных СЧ, используемых поочередно. Один из них производит перестройку по частоте, в то время как другой, уже закончив перестройку, обеспечивает функционирование приемопередатчика в текущем таймслоте.

### **Влияние шумов опорных сигналов на качество работы устройств СПРВ**

Опорные сигналы, необходимые для функционирования РЧ блока, имеют обычно синусоидальную или прямоугольную форму. Однако, реальные опорные сигналы, формируемые в РЧ блоках, отличаются от идеальных (рис. 9.19).

В спектре реального выходного сигнала в той или иной мере всегда присутствует фазовый шум (*Phase Noise*), возникающий из-за отклонений фронтов формируемого колебания от их идеального положения, имеющих случайный характер. В спектре, как правило, присутствуют и дискретные побочные составляющие (*Spurious Tones*), появляющиеся из-за систематических изменений периода формируемого сигнала.

Качество формируемого сигнала, прежде всего величина шумовой составляющей, в области частот вблизи от опорного сигнала (при малых частотных расстройках) определяется параметрами петли обратной связи активного СЧ. Оно зависит в основном от качества опорного генератора, ГУН, петлевого фильтра, шага сетки частот, и шумов элементов схемы, включая уровень шума фазового детектора. Шумы при больших частотных расстройках определяются, прежде всего, качеством и параметрами генератора, управляемого напряжением, и не зависят от параметров петли.

Фазовый шум опорных колебаний (сигналов гетеродинов), формируемых с помощью синтезаторов частоты, влияет на характеристики устройств в таких областях как многосигнальная избирательность (*multiple signal selectivity*) и отношение сигнал-шум (*signal to noise ratio*). Эта шумовая составляющая может существенно ухудшить качество функционирования приемопередатчиков СПРВ, за счет увеличения уровня шумов сигналов, обрабатываемых с помощью зашумленных опорных сигналов. При этом существуют два основных

механизма влияния шумов опорных сигналов, которые могут быть проиллюстрированы на примере приемного устройства (рис. 9.20).

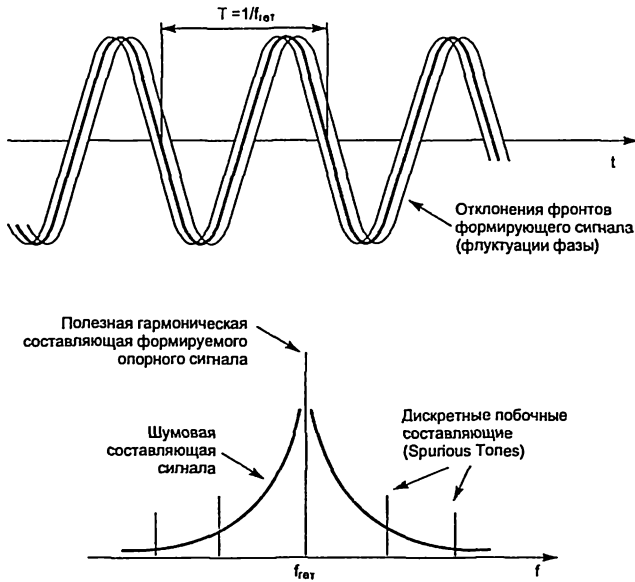
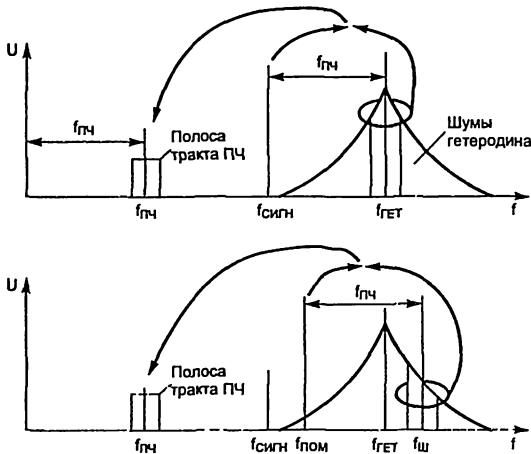


Рис. 9.19. Представление реального выходного сигнала во временной и частотной областях



- Во-первых, шумы гетеродина попадают в полосу тракта ПЧ вследствие прямого преобразования при смешивании с полезным сигналом  $f_{сигн}$ .

- Во-вторых, шумы гетеродина попадают в полосу пропускания тракта ПЧ вследствие их преобразования при из-за воздействия  $f_{пом}$ , для которой справедливо  $f_{ПЧ} = f_{ш} - f_{пом}$  или  $f_{ПЧ} = f_{пом} - f_{ш}$ . Данное явление называется обратным преобразованием шумов гетеродина (*Reciprocal Mixing*).

Рис. 9.20. Влияние шумов опорных сигналов на качество функционирования РЧ блока

### Разновидности СЧ, используемые в устройствах мобильной связи

В устройствах мобильной связи используются три основных разновидности СЧ:

1. *Одночастотный синтезатор*. В самом общем случае для формирования каждой из необходимых опорных частот в приемопередатчике может быть использован отдельный одночастотный СЧ.

На рис. 9.21 приведена структура приемопередатчика, в котором одночастотный СЧ используется для поочередной подстройки ГУН1, формирующего опорную частоту, используемую в тракте приема, и ГУН2, выходной сигнал которого с предварительно введенной модуляцией используется в тракте передачи. Более подробно схематехническая реализация и частотный план такой архитектуры приемопередатчика уже рассматривались ранее.

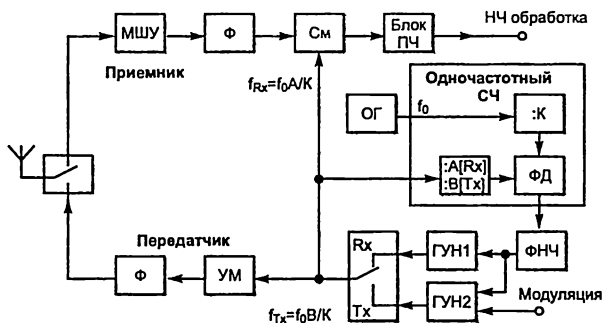


Рис. 9.21. Использование одночастотного СЧ в РЧ блоке

2. *Сдвоенный СЧ (dual frequency synthesizer)*. В устройствах DECT могут использоваться сдвоенные синтезаторы частоты, в корпусе ИС которых находятся две отдельные петли автоподстройки частоты, позволяющие одновременно управлять частотами двух ГУН (рис. 9.22). В таких синтезаторах происходит формирование двух выходных частот, номиналы которых отличаются незначительно. Один из сигналов, как правило, используется для переноса сигнала ПЧ, сформированного в передающей части, в диапазон выходных частот передатчика, а другой сигнал СЧ служит для преобразования принимаемого сигнала в область ПЧ.

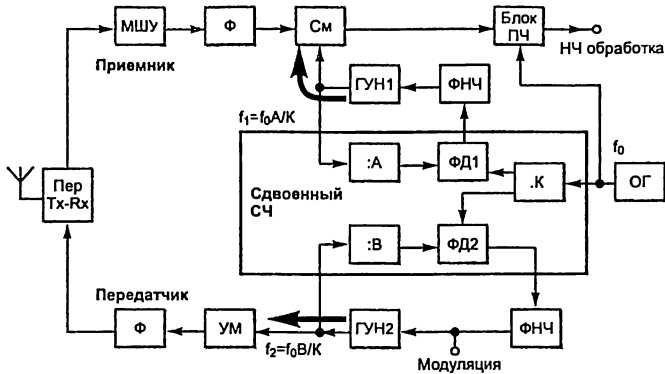


Рис. 9.22. Типовой вариант использования сдвоенного СЧ в РЧ блоке

3. *Сдвоенный СЧ сигналов ВЧ/ПЧ (dual RF/IF frequency synthesizer)*. Номиналы двух одновременно формируемых выходных частот значительно (на порядок и более) различаются и используются в трактах ВЧ и ПЧ соответственно. На рис. 9.23 показана обобщенная структура приемопередатчика, в котором использован такой сдвоенный ВЧ/ПЧ синтезатор.

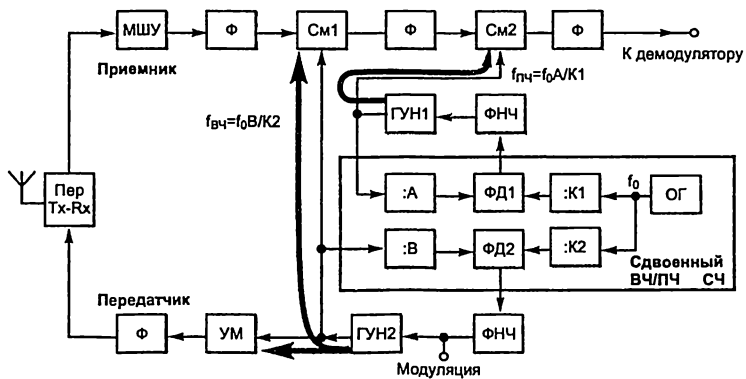


Рис. 9.23. Применение сдвоенного ВЧ/ПЧ синтезатора в устройствах подвижной связи

На рис. 9.24 приведена структура приемопередатчика, в котором применены ИС фирмы Philips. В устройстве используется сдвоенный синтезатор РЧ/ПЧ (*Dual RF/IF Frequency Synthesizer*) UAA1022.



руется с помощью кварцевого резонатора. Номинал выходной частоты, формируемый с помощью петель ФАПЧ в СЧ, изменяется при перестройке ГУН с помощью фазового детектора схемы ФАПЧ.

Все вышеописанные генераторы управляются напряжением, подаваемым от внешнего источника. Различие между опорным генератором и перестраиваемым по частоте ГУН в том, что опорный генератор обычно имеет резонатор или колебательный контур с очень высокой добротностью, который обеспечивает устойчивые колебания, в то время как перестраиваемый по частоте ГУН имеет колебательный контур с относительно низкой добротностью, что позволяет обеспечить требуемый диапазон перестройки частоты. В опорных генераторах варикапы используются для точной подстройки или осуществления температурной компенсации в термокомпенсированных кварцевых генераторах. В перестраиваемых генераторах варикапы обычно ставятся для перестройки по частоте в определенном диапазоне. В некоторых ГУН варикапы используются также для создания модуляции, например в ДЕСТ системе, где модуляция нужна, чтобы генерировать изменяющийся GMSK сигнал с постоянной огибающей.

В настоящее время абонентские устройства ССПО, как правило, работают в нескольких диапазонах частот, например в 900/1800 МГц. В таких РЧ блоках применяют несколько ГУН, работающих в разных диапазонах.

Для реализации данных особенностей были разработаны различные варианты схемотехнического построения ГУН, применяемые при разработке устройств систем подвижной связи. Следует отметить, что в настоящее время рядом фирм-изготовителей разработаны и выпускаются в интегральном исполнении ГУН, позволяющие их использовать вплоть до 4—5 ГГц.

### Основные характеристики ГУН

- **диапазон частот перестройки ГУН.** Определяет диапазон изменения частоты от  $f_{min}$  до  $f_{max}$  сигнала на выходе ГУН;
- **мощность выходного сигнала РЧ ГУН (Output Power).** Зависит от частоты и определяется типом используемого ГУН и элементной базы. Количественно определяется мощностью частоты

ты основной гармоники синусоидального сигнала на нагрузке 50 Ом на выходе ГУН;

- **отклонение от номинальной величины мощности на выходе ГУН (*Output Power Variation*)**. Это разность между максимальным и минимальным уровнем мощности на выходе ГУН на нагрузке 50 Ом при данной температуре (выражается в дБ) от частоты;
- **зависимость выходной мощности от температуры (*Output Power Change with Temperature*)**. Изменение мощности сигнала основной гармоники на выходе ГУН от температуры;
- **характеристика перестройки частоты (*Frequency Tuning Characteristic*)**. Это зависимость частоты на выходе ГУН от напряжения перестройки;
- **зависимость частоты от температуры (*Frequency vs. Temperature*)**. Изменение частоты ГУН от температуры при постоянном напряжении перестройки;
- **крутизна перестройки частоты (*Tuning Sensitivity*)**. Это крутизна характеристики перестройки частоты от напряжения перестройки (выражается в МГц/В);
- **линейность перестройки частоты (*Tuning Linearity*)**. Это отклонение линейной характеристики изменения частоты ГУН от напряжения перестройки;
- **нелинейность перестройки частоты (*Tuning Non-linearity*)**. Отклонение от линейного характера характеристики изменения частоты ГУН от напряжения перестройки;
- **скорость перестройки частоты (время переходного процесса ГУН) (*Tuning Speed or Response Time*)**. Это время, которое требуется для установления выходной частоты ГУН на 90 процентов от ее конечного значения после начала перестройки частоты ГУН;
- **ширина полосы частот модуляции (*Modulation Bandwidth*)**. Это частота модулирующего сигнала, при которой девиация частоты уменьшается до 0,707 от ее постоянного значения. Обычно она зависит от полного сопротивления источника модулирующего сигнала, типичное значение которого 50 Ом;
- **остаточная расстройка ГУН (*Post Tuning Drift*)**. При скачкообразном изменении напряжения перестройки ГУН перестро-



ится от начальной частоты  $f_1$  до конечной частоты  $f_2$ . При этом частота  $f_2$  установится до требуемого значения через некоторое время. Остаточная расстройка ГУН — это отклонение частоты от конечного значения за определенное время после скачкообразного изменения напряжения перестройки;

- **уход частоты ГУН при изменении температуры (*Frequency Drift With Temperature*)**. Это изменение частоты ГУН в зависимости от температуры при постоянном напряжении перестройки;
- **затягивание частоты (*Frequency pulling*)** — отклонение выходной частоты ГУНа от номинальной величины, вызванное изменениями его выходной нагрузки.

Явление затягивания частоты должно быть минимизировано, особенно в тех случаях, когда каскады усиления мощности в структуре передатчиков находятся близко к ГУН. При этом импульсный режим работы УМ, при котором существенно меняются параметры усилителя, может воздействовать на выходную частоту ГУН. Такая паразитная обратная связь может приводить даже к срыву процессов РЧ синхронизации ГУН;

- **смещение частоты (*Frequency pushing, Pushing*)** — изменение выходной частоты ГУНа при воздействии внешних воздействий, исключая изменение величины нагрузки генератора, при постоянном напряжении настройки. При этом чаще всего ограничиваются лишь учетом изменения величины напряжения источника питания. Внезапный бросок тока, вызванный выходным усилителем абонентского устройства, может производить выброс постоянного напряжения на вводе питания ГУНа, что в свою очередь приведет к нежелательному скачку выходной частоты. Чтобы определить чувствительность ГУН по смещению (*Pushing sensitivity*), производят изменение величины напряжения питания в некотором диапазоне, измеряя при этом выходную частоту ГУНа. Смещение частоты обычно выражается в МГц/В и определяется при изменении напряжения питания на  $\pm(0,1—0,5)$  В от номинального значения для различных фиксированных величин напряжений настройки. Для определения чувствительности необходимо разделить полученный частотный сдвиг на величину изменения напряжения. Генераторы хо-

рошего качества, используемые в РЧ блоках устройств ССПО, имеют чувствительность по смещению 1—10% от чувствительности по основному входу настройки (*Tuning sensitivity*).

- коэффициент гармоник выходного напряжения ГУН (*Harmonic Content*). Это уровень гармонических составляющих выходного напряжения. Измеряется в дБ по отношению к несущей (дБн);
- побочные составляющие или негармонические побочные составляющие (*Spurious Responses or Non-harmonic Spurious Content*). Побочные компоненты и негармонически зависимые сигналы, присутствующие в спектре выходного сигнала ГУН. Измеряются в дБн;
- фазовый шум одной боковой полосы (*Single Side Band Phase Noise*). Он измеряется в полосе 1 Гц по отношению к мощности несущей частоты при определенном частотном сдвиге от нее  $\Delta f$ . Фазовый шум одной боковой полосы измеряется в дБн/Гц;
- фликер-шум (*Flicker Noise*). Является одним из источников шума в полупроводниковых приборах, амплитуда его меняется обратно пропорционально частоте ( $1/f$ ).

## Информационный тракт устройств DECT

В информационном тракте (*Baseband Section*) находятся ЦАП и АЦП, осуществляющие преобразование речевой информации, а также ряд ЦАП и АЦП, необходимых для управления блоком РЧ и всем устройством в целом. В частности, здесь происходит цифровая обработка сигналов RSSI, вырабатываются аналоговые сигналы управления коэффициентами усиления каскадов блока РЧ, обеспечиваются непосредственные подключения дисплея, микрофона и громкоговорителя абонентских трубок. Основу информационного тракта составляет специализированный ЦСП. Специализированные контроллеры, предназначенные для использования в базовых станциях и учреждениях АТС, являются более сложными устройствами и содержат устройства подавления эха и узлы, допускающие сопряжение приемопередатчиков с аналоговыми телефонными линиями или сетью ISDN, организацию конференц-связи [7, 47, 48, 63—64]. Контроллер

---

информационного тракта (*baseband controller*) в большой степени определяет те функции, которые сможет поддерживать устройство. Он обеспечивает полнодуплексное взаимодействие между каскадами обработки речевой информации или передаваемых данных и РЧ/ПЧ каскадами приемопередатчика, содержит кодеки и логику управления пакетами DECT (*burst-mode control logic*), периферийные устройства и различные интерфейсы. Логика управления пакетами формирует передаваемые данные в кадры, демультиплексирует полученные данные и выполняет шифрование данных в соответствии со стандартом DECT.

# Аббревиатуры

3G		Системы связи третьего поколения
Access Rights Class	ARC	Класс полномочий доступа
Access Rights Details	ARD	Описание полномочий (прав) доступа
Access Rights Identity	ARI	Идентификация полномочий (прав) доступа
Accessory kit		Набор принадлежностей (вспомогательного оборудования)
Acknowledgement	ACK	Подтверждение (приема информации)
Adaptive Differential Pulse Code Modulation	ADPCM	Адаптивная дифференциальная импульсно-кодовая модуляция, АдИКМ
Adjacent channel interference		Помеха по соседнему каналу
Adjacent Channel Power	ACP	Мощность, излучаемая по соседнему каналу
Adjacent Channel Selectivity		Избирательность по соседнему каналу
Alarms System Alarms External alarms House alarms		Аварийная сигнализация Неисправности системы Внешние аварии Аварии помещения, в котором развернута система связи (напр. пожар)
Alert cadences		Мелодии оповещения пользователя в абонентских устройствах систем связи
Alternating current	AC	Переменный ток
Analog to digital	A/D	Аналого-цифровое преобразование
Application specific integrated circuit	ASIC	ИС специального применения
Audio frequency	AF	Звуковая частота
Authentication Code	AC	Аутентификационный код
Authentication Session Key	KS PP	Сеансовый аутентификационный код

## Аббревиатуры (продолжение)

Automatic Frequency Control	AFC	Автоматическая подстройка частоты
Automatic Gain Control	AGC	Автоматическая регулировка усиления
Automatic Repeat reQuest	ARQ	Автоматический запрос повторения
Base station identity signal		Сигнал идентификации базовой радиостанции
Bit Error Rate	BER	Коэффициент битовых ошибок
Broadcast Message Control	BMC	Управление вещательным запросом
Burst mode controller	BMC	Контроллер пакетов
Burst mode logic		Логика управления пакетами
Business Cordless Telephony	BCT	Беспроводная бизнес-телефония
Call Control	CC	Управление вызовом
Call handling		Обработка вызова
Call Independent Supplementary Services	CISS	Дополнительные услуги, не зависящие от вызова
Call Related Supplementary Services	CRSS	Дополнительные услуги, связанные с вызовом
Carrier		Несущая частота
Cell Site Function	CSF	
Central Control Fixed Part	CCFP	Центральный управляющий контроллер
Central Control Unit	CCU	Центральный блок управления
Central processing unit	CPU	Блок центрального процессора
Channel allocation		Распределение каналов
Channel number coding		Кодирование номера канала
Channel separation		Разделение каналов
Channel spacing		Разнос каналов

## Аббревиатуры (продолжение)

Channel status information		Информация о состоянии канала
Charge pump		Генератор тока, накачка заряда
Cipher Key	СК	Ключ шифрования
Circuit Switched Public Data Network	CSPDN	Сеть передачи данных общего пользования с коммутацией каналов
Coder-Decoder	CODEC	Кодек
Comitеш Consultatif International Tешешgraphique et Tешешphonique	CCITT	Комитет ССИТТ
Common equipment	CE	Оборудование общего применения
Common Interface	CI	Общий интерфейс
Communication configuration		Конфигурация системы
Connection End Point	CEP	Оконечная точка соединения
Connection Oriented Message Service	COMS	Функция передачи сообщений с предварительной установкой соединения
Connection Oriented mode	C/O	Трехфазный режим соединения (установка соединения, передача данных, разъединение)
Connectionless Bearer Control	CBC	Управление каналом без предварительной установки соединения
Connectionless Message Control	CMC	Управление передачей сообщений без предварительной установки соединения
Connectionless Message Service	CLMS	Функция передачи (обслуживание) сообщений без предварительной установки соединения
Connectionless mode	C/L	Двухфазный режим соединения (без предварительной установки соединения)
Continuous Dynamic Channel Selection	CDCS	Непрерывный динамический выбор канала
Control Plane	C-Plane	Уровень управления
Control Unit	CU	Блок управления
Converter		Преобразователь

## Аббревиатуры (продолжение)

Cordless Local Area Network	CLAN	Беспроводная локальная сеть
Cordless Radio Fixed Part	CRFP	Бесшнуровая стационарная (стационарная) радиочасть
Cordless telephone adapter	СТА	Адаптер беспроводного телефона
Cordless Terminal Mobility	CTM	Мобильные системы общего пользования
Correction voltage		Напряжение коррекции (для ГУН)
Counter		Счетчик
Crossover spurs		Перекрестные побочные составляющие
Crystal stabilized oscillator		Генератор, стабилизированный кварцевым резонатором
Cyclic Redundancy Check	CRC	Циклический избыточный код
Data Link Control	DLC	Управление линией передачи данных
Data Link Identifier	DLI	Идентификатор линии передачи данных
dB relative to 1 milliwatt	dBm	дБ относительно 1 мВт
Dead zone		Зона нечувствительности устройства
DECT Authentication Module	DAM	Модуль аутентификации DECT
DECT Network	DNW	Сеть DECT
DECT Standard Authentication Algorithm	DSAA	Стандартный алгоритм аутентификации DECT
DECT Standard Cipher	DSC	Стандартное шифрование DECT
Derived Cipher Key	DCK	Производный ключ шифрования
Digital Enhanced Cordless Telecommunications	DECT	Стандарт цифровой усовершенствованной бесшнуровой связи
Digital frequency synthesizer		Цифровой СЧ
Digital supplies		Напряжение питания цифровой части ИС

## Аббревиатуры (продолжение)

Digital to Analog	D/A	Преобразование цифра-аналог
Direct current	DC	Постоянный ток
Directional antenna		Направленная антенна
Diversity reception		Разнесенный прием
Divider	DIV	Делитель сигнала
downconversion		Преобразование частоты вниз
Dual Band frequency synthesizer		Двухдиапазонный синтезатор частот
Dual conversion receiver		Приемник с двойным преобразованием частоты
Dual frequency synthesizer		Сдвоенный СЧ, СЧ с двумя различными выходными частотами
Dual RF/IF frequency synthesizer		Сдвоенный СЧ для формирования ВЧ и ПЧ частот, номиналы которых значительно отличаются
Dual Tone Multi-Frequency	DTMF	Двухтональная (многочастотная) сигнализация
dual mode		Двумодовый, двухрежимный
Dual-modulus Prescaler	DMP	ПДЧ с двойным переключаемым коэффициентом деления (ДвДПКД)
Dummy Bearer Control	DBC	Управление холостой передачей
duty cycle		Рабочий цикл
Dynamic time- and frequency-sharing		Динамическое частотно-временное разделение
Effective Radiated Power	ERP	Эффективно излучаемая мощность
Electrically erasable read only memory	EEPROM	Электронно-стираемое постоянное ЗУ, память ЭСПЗУ
Electro Static Discharge	ESD	Электростатический разряд — ЭСР
Electromagnetic compatibility	EMC	ЭМС
Electromagnetic Interference	EMI	Радиопомеха



## Аббревиатуры (продолжение)

End System	ES	Система, поддерживающая все 7 уровней протокола OSI
European Telecommunication Standard	ETS	Европейский стандарт связи
Expected Response calculated by a FT	XRES1	Ожидаемый ответ, вычисляемый в стационарной части
Expected Response calculated by a PT	XRES2	Ожидаемый ответ, вычисляемый в портативной части
Extend site	ES	Расширение терминала
Fall time		Время спада
Fast frequency shift keying	FFSK	Частотная манипуляция
Fast mode		Режим ускорения переключения СЧ
Frame error rate	FER	Частота передачи ошибочных циклов
Fixed Part	FP	Стационарная (фиксированная) часть
Fixed part MAC Identity	FMID	MAC идентификатор стационарной части
Fixed radio Termination	FT	Стационарное радиоокончание
Flash PROM	F-PROM	Энергонезависимая программируемая постоянная память
Forward Error Correction	FEC	Прямое исправление ошибок
Frame number		Номер кадра
Frequency accuracy		Точность установки частоты
Frequency interval		Частотный интервал
Frequency Division Multiple Access	FDMA	Множественный доступ с частотным разделением
Frequency multiplier		Умножитель частоты
Frequency pushing		
Frequency synthesizer		Синтезатор частот (СЧ)

## Аббревиатуры (продолжение)

Frequency-agile communications systems		Быстро перестраиваемые по частоте системы связи, системы связи со скачками по частоте
Frequency-shift keying two-level FSK four-level FSK	FSK	Манипуляция со сдвигом по частоте двухуровневая FSK четырёхуровневая FSK
Frequency-to-Voltage converter		Преобразователь частота-напряжение
Gaussian Frequency Shift Keying	GFSK	Гауссовская частотная манипуляция
Generic Access Profile	GAP	Родовой Профиль Доступа
Global Network	GNW	Глобальная сеть
Grounding		Заземление
Hand-held telephone		Портативный телефон
Hardware	HW	Оборудование, аппаратура
High power rating		Максимально допустимая рабочая мощность
High-Speed Digital Subscriber's Line	HDSL	Высокоскоростная цифровая абонентская линия
High-Speed Divider	HSD	Высокоскоростной делитель
High-Speed Signal Acquisition		Быстрый захват сигнала
Home Data Base	HDB	База данных постоянного нахождения
Image reject mixer		Смеситель с подавлением зеркального сигнала
Image Rejecting		Подавление нежелательных частотных компонент (зеркального канала)
Inband Ripple	IR	Неравномерность характеристики в полосе пропускания
In-lock flag		Признак режима синхронизма петли АПЧ
Insertion Loss	IL	Вносимые потери
Installation and Commissioning	I&C	Установка и ввод в работу
Integrated Services Digital Network	ISDN	Цифровая сеть с интегрированным обслуживанием

## Аббревиатуры (продолжение)

Intermediate Frequency	IF	Промежуточная частота
Intermittent mode		Режим работы устройства с прерыванием
Intermittent operation control circuit		Схема управления режимом работы с прерыванием (в режиме сохранения мощности источника питания)
Intermodulation	IM	Интермодуляция
International Alphabet No.5	IA5	Набор символов по стандарту ССИТТ
International Fixed Equipment Identity	IFEI	Международный идентификатор стационарного оборудования
International Portable Equipment Identity	IPEI	Международный идентификатор портативного оборудования
International Portable User Identity	IPUI	Международный идентификатор пользователя портативного оборудования
Interworking Functions	IWF	Функции сопряжения
Interworking Unit	IWU	Модуль (блок) сопряжения
Key Stream Generator	KSG	Генератор ключевого потока
Key Stream Segment	KSS	Сегмент ключевого потока
Layer Physical Layer Medium Access Control	PHL MAC	Уровень физический уровень уровень управления доступом к среде
laser trimming		Лазерная подстройка элементов
Least Significant Bit	LSB	Младший значащий бит
Light Emitting Diode	LED	Светодиод
Line level offset		Смещение линейного уровня
Line Monitoring Unit	LMU	Блок линейного контроля
Link Control Entity	LCE	
Load		Нагрузка
Load pulling		Затягивание частоты по цепи нагрузки
Local Area Network	LAN	Локальная сеть связи

## Аббревиатуры (продолжение)

Local Network	LNW	Локальная сеть
Local oscillator		Гетеродин
Local oscillator	LO	Местный гетеродин
Location updating		Процедура изменения данных о местоположении абонента
Lock detector		Детектор синхронизации
Logical Bearer Number	LBN	Номер логического однонаправленного канала
Logical Connection Number	LCN	Номер логического соединения
Logical Link Number	LLN	Номер логической линии
Loop filter		Петлевой фильтр
Loop bandwidth		Полоса пропускания петли АПЧ
Low noise amplifier	LNA	Маломшумящий усилитель
Low noise frequency synthesizer		Маломшумящий СЧ
Low Power frequency synthesizer		Экономичный СЧ
Low Rate Messaging Service	LRMS	Низкоскоростная служба передачи сообщений
Low Voltage frequency synthesizer		СЧ с малым напряжением питания, низковольтный СЧ
Low-battery detect		Индикация разрядки источника питания
Lower Layer Management Entity	LLME	Объект управления нижнего уровня
Mains breakdown	MBD	Неисправность сети питания
Maintenance		Обслуживание
Management/maintenance order		Команда на управление / обслуживание
Man-Machine Interface	MMI	Интерфейс «человек-машина»
Measuring Coupler		Измерительный ответвитель
Medium Access Control	MAC	Управление доступом к среде

## Аббревиатуры (продолжение)

Mobile station	MS	Мобильная станция
Mobility Management	MM	Управление мобильностью
Monitoring	MON	Контроль, мониторинг
Most Significant Bit	MSB	Старший значащий бит
Multiband Handset		Многодиапазонное портативное устройство
Multimedia Messaging Service	MMS	Служба передачи мультимедийных сообщений
Multimode Handset		Многорежимное (многомодовое) портативное устройство
Multiple Bearer Control	MBC	Многоканальное управление
Multiple cell		Несколько сот
Multiplexer	MUX	Мультиплексор
Network	NWK	Сеть
Network Layer	NWL	Сетевой уровень
Normal Transmitted Power	NTP	Нормальная (номинальная) передаваемая мощность
Omnidirectional antenna		Всенаправленная антенна
Open Systems Interconnection	OSI	Стандартное семиуровневое построение сетей, разработанное ISO
Operating time		Время функционирования устройства в активном режиме, например, режиме телефонных переговоров
Operation and maintenance	O&M	Работа и обслуживание
Out-of-lock flag		Признак отсутствия режима синхронизма петли АПЧ
Out-of-lock indication		Индикация синхронизма петли АПЧ
Overvoltage protector	OVP	Устройство защиты от перегрузки по напряжению
Packet Switched Public Data Network	PSPDN	Сеть передачи данных общего пользования с коммутацией пакетов

## Аббревиатуры (продолжение)

Paging		Пейджинг • передача информации мобильному абоненту в пейджинговых системах; • процесс поиска мобильного абонента при его вызове в системе
Paging acknowledgment		Подтверждение приема сигнала поиска
Park Length Indicator	PLI	Индикатор длины ключа полномочий доступа PARK
PARK{y}	PARK{y}	PARK со значением индикатора длины «у»
parts per million	ppm	Миллионная часть параметра, $1 \cdot 10^{-6}$
Personal Identification Number	PIN	Личный идентификационный номер, личный идентификатор
Phase Locked Loop	PLL	Система (петля) фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ)
Phase locked loop frequency synthesizer		СЧ на основе системы ФАПЧ
Phase/Frequency Discriminator		Частотно-фазовый детектор
Phase-Locked Loop	PLL	Фазовая автоподстройка частоты, ФАПЧ
Physical, layer 1	PHL	Физический
Plain Old Telephone (Service)	POT(S)	
Portable Access Rights Key	PARK	Ключ полномочий доступа портативного устройства
Public Access Rights Key	PARK	Ключ полномочий общего доступа
Portable Application	PA	Портативное устройство, применение
Portable Handset	PHS	Портативное устройство, радиотелефон
Portable Part	PP	Мобильная (портативная) часть
Portable part MAC Identifier	PMID	MAC идентификатор портативной части
Portable radio Termination	PT	Портативное радиоокончание

## Аббревиатуры (продолжение)

Portable User Number	PUN	Номер пользователя портативного устройства
Portable User Type	PUT	Тип пользователя портативного устройства
Power amplifier	PA	Усилитель мощности
Power amplifier ramping		(Плавное) управление усилителем мощности
Power consumption		Потребляемая мощность
Power down		Уменьшение потребляемой мощности
Power down mode		Режим снижения потребляемой мощности ИС или устройства
Power management		Управление мощностью, потребляемой устройством от источника питания
Power Ramping		Рампинг, формирование в передатчике огибающей излучаемого сигнала в соответствии с определенной временной маской
Power save		Уменьшение энергопотребления
Power saving mode		Режим сохранения мощности источника питания
Power saving scheme		Схема сохранения мощности источника питания
Power supply		Источник питания
Power supply unit	PSU	Блок питания
Power up		Включение электропитания
Prescaler		Предварительный делитель частоты (ПДЧ)
Primary Access Rights Identity	PARI	Первичный идентификатор полномочий доступа
Principal synthesizer		Основной синтезатор
Private Automatic Branch Exchange	PABX	Частная АТС, имеющая выход в сеть общего пользования
Private Telecommunication Network	PTN	Частная сеть связи
Programmable counter		Программируемый счетчик
Programmable Divider		Программируемый делитель

## Аббревиатуры (продолжение)

Programmable logic device	PLD	Программируемая логическая матрица, ПЛМ
Programmable Prescaler		Предварительный делитель частоты с изменяемым коэффициентом деления
Programmable read only memory	PROM	Программируемая постоянная память, ППЗУ
Proportional to absolute temperature	PTAT	Напряжение
Protocol Control Information	PCI	Информация о протоколе (термин OSI)
Protocol Data Unit	PDU	Протокольный блок данных (термин OSI)
Public Access Profile	PAP	Профиль общего доступа
Public Switched Telephone Network	PSTN	Телефонная сеть общего пользования, ТФСОП
Pulse Swallowing PLL	PS-PLL	Система ФАПЧ с циклическим изменением коэффициента деления делителя частоты
Pulse Code Modulation	PCM	Импульсно-кодовая модуляция, ИКМ
Pulse Width Modulation	PWM	Широтно-импульсная модуляция, ШИМ
Quadrature Phase Shifter		Фазовращатель квадратурных каналов
Radio Base Station	RBS	Базовая радиостанция
Radio Equipment and Systems	RES	Радиооборудование и системы
Radio Fixed Part	RFP	Стационарная (фиксированная) радиочасть, базовая радиостанция
Radio Fixed Part Identity	RFPI	Идентификатор стационарной радиочасти
Radio Fixed Part Number	RPN	Номер стационарной радиочасти
Radio Frequency	RF	Радиочастота
Radio frequency (RF) front end		(Функционально законченный) радиочастотный блок
Radio frequency interference	RFI	Радиопомеха



## Аббревиатуры (продолжение)

Radio Signal Strength Indicator	RSSI	Индикация уровня принимаемого сигнала
Ramp circuit		Схема плавного управления усилителем мощности, схема формирования требуемой огибающей РЧ выходного сигнала
Random access memory	RAM	ЗУ с произвольной выборкой
Received signal strength indication	RSSI	Индикация уровня принимаемого сигнала
Receiver	RX	Приемник
Receiver Amplifier	RXA	Усилитель приемника
Receiver Bandpass Filter	RXBP	Полосовой фильтр приемника
receiver sensitivity		Чувствительность приемника
Reference	REF	Эталонный генератор, опорный генератор
Reference Clock	RC	Опорная синхропоследовательность
Reference Divider		Делитель опорного тракта синтезатора частоты
Reference frequency		Опорная частота
Reference frequency counter		Делитель тракта опорной частоты
Reference Oscillator	REFO	Опорный генератор
Repeater Part	REP	Репитер
Response calculated by a PT	RES1	Ответ, вычисляемый при процессе аутентификации в мобильной части
Response calculated by an FT	RES2	Ответ, вычисляемый при процессе аутентификации в стационарной части
Return loss		Потери на отражение
Rise time		Время нарастания
Rising edge		Передний фронт импульса
Roaming		Роуминг
Roofing filter		Полосовой диапазонный фильтр

## Аббревиатуры (продолжение)

Sample and hold circuit		Схема выборки и хранения
Secondary Access Rights Identity	SARI	Вторичный идентификатор прав доступа
sensitivity		Чувствительность
Service Access Point	SAP	Точка взаимодействия уровней OSI
service area		Область обслуживания
Service Data Unit	SDU	Сервисный блок данных
Short Message Service	SMS	Служба коротких сообщений
SideBand Selection	SBS	Выбор боковой полосы
Signal strength measurement		Измерение уровня сигнала
Signal Strength Receiver	SR	Приемник-измеритель уровня сигнала
Signalling Method		Метод сигнализации
Signal-to-noise-ratio	S/N	Отношение сигнал/шум
Single cell		Одна сота
Single conversion transmitter		Передатчик с одним преобразованием частоты
Slow-blow fuse		Плавкий предохранитель с задержкой срабатывания
Software	SW	Программное обеспечение
Short Message Service	SMS	служба коротких сообщений
Spurious Rejection		Подавление внеполосных сигналов
Squelch		Пороговый шумоподавитель
Standby state		Режим ожидания, (ждущий) дежурный режим функционирования устройства
Standby time		Время функционирования устройства в ждущем режиме
Static Cipher Key	SCK	Статический ключ шифрования
Supplementary Services	SS	Дополнительные услуги

## Аббревиатуры (продолжение)

Surface acoustic wave resonator	SAWR	Резонатор на поверхностных акустических волнах (ПАВ)
Swallow counter		Поглощающий счетчик (делитель частоты)
Switching Call		Переключающийся вызов
Switching speed		Скорость переключения
Synchronization clock synchronization packet synchronization		Синхронизация тактовая синхронизация пакетная синхронизация
Temporary Portable User Identity	TPUI	Временный идентификатор пользователя портативного устройства
Terminal equipment	TE	Терминальное оборудование
Tertiary Access Rights Identity	TARI	Третичный идентификатор прав доступа
Time Division Duplex	TDD	Дуплексная связь с временным разделением
Time Division Multiple Access	TDMA	Множественный доступ с временным разделением
Timing		Временная синхронизация
Traffic Area	TA	Область обслуживания
Traffic Bearer Control	TBC	Управление каналом трафика
Transaction Identifier	TI	Идентификатор транзакций
Transceiver	TRX	Приемопередатчик
Transmitter bandpass filter	TXBF	Полосовой фильтр передатчика
Transmission equipment	TE	Передающее оборудование
Transmit/Receive switch		Ключ прием-передача, ключ Rx-Tx
Transmitter	TX	Передатчик
Tri-State mode		Режим третьего состояния ФД
Tune through		Сквозная перестройка устройства по рабочему диапазону от $f_{min}$ до $f_{max}$

## Аббревиатуры (продолжение)

Upconverter Mixer		Смеситель с переносом сигнала по частоте вверх
User Authentication Key	UAK	Ключ аутентификации пользователя
User Personal Identification	UPI	Персональный идентификатор пользователя
User Plane	U-Plane	Абонентский (пользовательский) план (уровень), U-план
Variable frequency quadrature oscillator	VFQO	Генератор перестраиваемой частоты с квадратурными выходами
Variable Gain Amplifier	VGA	Усилитель с регулируемым коэффициентом усиления, регулируемый усилитель (РУ)
Visitors Data Base	VDB	База данных временного нахождения
Voltage Controlled Oscillator	VCO	Генератор, управляемый напряжением (ГУН)
Voltage standing wave ratio	VSWR	Коэффициент стоячей волны по напряжению, КСВН
Waveform map		Карта сигнала — информация о форме формируемого сигнала
Wireless Local Loop	WLL	Устройство беспроводного доступа в сеть общего пользования
Wireless Relay Station	WRS	Радиорелейная станция

## Определения

**Access Rights Class, ARC** — *класс прав доступа*: показывает тип доступа к DECT сети — общего пользования (*public*), связанной с местом жительства (*residential*) или частной (*private*). Иногда в отечественной литературе используется термин: код полномочий доступа.

**Access Rights Details, ARD** — детали (детальное описание) прав доступа. ARD — уникальный номер внутри ARC.

**Access Rights Identity, ARI** — код идентификатора прав доступа (ARI) — глобально уникальный идентификатор для поставщика услуг (*service provider*), показывающий права доступа, относящиеся к этому поставщику услуг. ARI состоит из кода класса прав доступа (*Access Rights Class, ARC*) и детального описания прав доступа (*Access Rights Details, ARD*). Имеются три категории ARI:

PARI = Первичный (Primary) ARI;

SARI = Вторичный (Secondary) ARI;

TARI = Третичный (Tertiary) ARI.

**Antenna Diversity** — *разнесение антенн*. Приемопередающее устройство системы, как правило, базовая станция, может выбирать свойства и параметры используемых антенн — коэффициент усиления, поляризацию (*polarisation*), область покрытия (*coverage patterns*) и другие, что может улучшать качество функционирования системы. Типичный пример для системы DECT — пространственное разнесение антенн (*space diversity*), когда две вертикально поляризованные антенны находятся на расстоянии 10—20 см друг от друга.

**Attach** — подключение, присоединение: процесс, посредством которого портативная (портативная) часть PP, находящаяся внутри области покрытия стационарной (стационарной) части FP, к ко-

торой она имеет права доступа, сообщает FP, что она является действующей (*operative*). Действующая PP готова получать вызовы. Обратный процесс — отключение, отсоединение (*detach*), при котором о PP сообщается, как о бездействующей (*inoperative*).

**Authentication (of a subscriber, user)** — аутентификация, установление подлинности (абонента, пользователя): процесс, посредством которого безусловно проверяется, является ли абонент DECT законным пользователем отдельной FP. Установление подлинности, вообще, выполняется при установлении связи, но может быть выполнено и в любое другое время, например, во время сеанса связи.

**Authentication of PT** — аутентификация (установление подлинности) PT: процесс, посредством которого проверяется, имеет ли DECT портативное окончание PT законное право использования отдельной стационарной части FP.

**Authentication of FT** — аутентификация (установление подлинности) FT: процесс, посредством которого для DECT PT подтверждается подлинность FT.

**Beacon** — маячная, сигнальная передача FP.

**Bearer** — (однонаправленный) канал связи.

**Bearer handover** — хендовер со сменой канала связи.

**Bearer service** — обслуживание канала (канальный сервис, сервис передачи): тип телекоммуникационного сервиса, который обеспечивает определенную возможность для передачи сигналов через интерфейс пользователь—сеть (*user-network interface*). DECT интерфейс пользователь—сеть соответствует верхней части DECT сетевого уровня (уровень 3).

**Bit Error Rate, BER** — коэффициент битовых ошибок: частота приема ошибочных битов — мера качества передачи информации. Представляет собой отношение числа ошибочно принятых битов к общему количеству переданных за некоторое время битов.

**Broadcast** — вещательная радиопередача: симплексный режим передачи (RFP) точка-многоточка (*point-to-multipoint*), т. е. передача без адресации конкретной РР. Передатчик может игнорировать наличие или отсутствие приемников.

**C-plane, (control plane)** — (уровень) С-план, план управления: уровень управления пакетами протокола DECT, который содержит все необходимое для внутреннего управления DECT протоколом, но может также включать некоторую внешнюю пользовательскую информацию. Пакет плана С всегда содержит объекты протокола, включая сетевой уровень NWK.

**Call** — вызов, связь, сеанс связи: все процессы сетевого уровня NWK, включаемые в одно соединение между равноправными узлами (*peer-to-peer association*) NWK уровня. Вызов может иногда использоваться, чтобы обратиться к процессам всех уровней, так как процессы нижнего уровня неявно требуются.

**Cell Site Functions, CSF** — функции участка соты: все функции, которые имеют отношение только к одной соте.

**Central Control Fixed Part, CCFP** — стационарная часть централизованного управления: физическая группировка, которая содержит центральные элементы (*central elements*) FP. FP содержит максимум одну CCFP. CCFP управляет одной или более RFP.

**Centrex** — реализация (коммутационного) оборудования частной сети связи, которое не размещено в помещении оператора частной сети. Оно может располагаться совместно с (коммутационным) оборудованием телефонной сети общего пользования, или физически быть ее частью.

**Channel** — канал: см. физический канал (*Physical channel*).

**Cluster** — кластер: логическая группировка из одной или более сот (ячеек), между которыми возможен хендовер со сменой однонаправленного канала (*bearer handover*). Функция управления кластером CCF (*Cluster Control Function*) управляет одним кластером. Внутренний хендовер в соту, не являющуюся частью одно-

го кластера, может быть выполнен только эстафетной передачей подключения (*connection handover*).

**Cluster Control Function, CCF** — функция управления кластером: включает все функции уровня MAC, которые используются для управления более чем одной сотой. Кластер содержит только одну CCF.

**Connection handover** — (эстафетная) передача подключения: процесс внутренний передачи (хендовера), обеспечиваемый уровнем DLC, посредством которого один набор DLC объектов (С-уровень и U-уровень) может перенаправить данные от одного MAC соединения на второе новое MAC соединение, поддерживая обслуживание, обеспечиваемое для NWK уровня. Передача подключения основана на DLC кадре (фрейме).

**Connectionless mode (Connection Less mode), C/L** — режим без установления соединения: режим передачи, при котором один пакет данных передается от одной точки источника для одной или более точек назначения за одну фазу. Передачи без установления логического соединения требуют, чтобы заранее были подготовлены ассоциации (связи) между равноправными узлами (*peer-to-peer associations*), и передача остается неподтвержденной (*unacknowledged*) в этом уровне.

**Connection Oriented mode, C/O** — режим, ориентируемый на соединение; режим с установкой соединения: режим передачи, при котором данные передаются от одной точки источника для одной или более точек назначения, с использованием протокола, основанного на трех фазах: «Установка соединения», «Передача данных» и «Разъединение соединения». В отличие от C/L режима, C/O режим не требует никаких заранее подготовленных ассоциаций (связей) между равноправными объектами.

**Cordless Radio Fixed Part, CRFP** — беспроводная стационарная радиочасть: беспроводная ретрансляционная (релейная) станция (WRS), обеспечивающая независимое управление каналом (передачей) для PT и FT.



**Cordless Terminal Mobility, СТМ** — термин, используемый для обозначения *микросотовых систем общего пользования*.

**Coverage Area** — область покрытия: пространство, в котором может быть установлена и поддержана надежная связь.

**DECT Network, DNW** — сеть DECT: сеть, которая использует эфирный интерфейс DECT, чтобы связать локальную сеть с одним или несколькими портативными приложениями. DNW — это логическая группировка, которая содержит одно или несколько стационарных радиоокончаний FT плюс связанные с ними портативные радиоокончания PT. Логические границы сети DECT определены сверху DECT сетевым уровнем NWK. Границы сети DECT не являются физическими границами.

**DLC broadcast** — DLC радиопередача: симплексный режим передачи «без установления соединения» от радиопередающего DLC объекта (*DLC broadcast entity*) одного стационарного радиоокончания FT к DLC объектам радиопередачи в одном или нескольких портативных радиоокончаниях PT. Передатчик может игнорировать наличие или отсутствие приемников.

**DLC data link, DLC link** — DLC канал связи (DLC звено передачи данных): соединение между двумя объектами DLC уровня. Это также может быть одно соединение С-уровня или одно соединение U-уровня. Это не то же самое, что MAC соединение.

**DLC frame** — DLC кадр (фрейм): формат, используемый в структуре всех сообщений, обмен которыми происходит между равноправными объектами DLC уровня. На С-уровне и U-уровне используются различные DLC кадры, и на каждом уровне имеется более чем один формат DLC кадра.

**Double duplex bearer** — двойной дуплексный (однонаправленный) канал: использование двух дуплексных однонаправленных каналов (см. *duplex bearer*), относящихся к одному MAC соединению, с совместным использованием их симплексных каналов (см. *simplex bearer*) для информационного потока.

**Double-simplex bearer** — двойной симплексный (однонаправленный) канал: использование двух симплексных однонаправленных каналов, работающих в одном направлении на двух физических каналах. Эти пары каналов всегда используют одинаковую РЧ несущую частоту и всегда используют равномерно располагаемые временные слоты, разделяемые половиной TDMA кадра. Двойной симплексный однонаправленный канал существует только как часть многоканального MAC соединения.

**Down-link, DownLink, DL** — передача вниз, линия связи вниз: направление передачи по радиointерфейсу от стационарной части FT (базовой станции БС) к портативной РТ (мобильной станции МС).

**Double slot** — двойной слот: одна двенадцатая часть TDMA (МДВР) кадра (фрейма), используемая для поддержки одного физического канала большой емкости (*high capacity physical channel*).

**Duplex Bearer** — дуплексный (однонаправленный) канал: использование двух симплексных однонаправленных каналов, работающих в противоположных направлениях на двух физических каналах (*physical channel*). Эти пары каналов всегда используют одну и ту же РЧ несущую частоту и равномерно располагаемые временные слоты, отстоящие на 0,5 TDMA кадра.

**End System, ES** — конечная система: логическая группировка (*logical grouping*), в которой происходят прикладные процессы (*application processes*), поддерживающая телекоммуникационные услуги (*telecommunication services*). В терминах *OSI* — система, поддерживающая протоколы всех семи уровней *OSI*. См. *Intermediate System*.

**Entity** — объект: реальный или абстрактный предмет, который представляет интерес, в том числе, с точки зрения его связей с другими объектами.

**European Telecommunications Standards Institute, ETSI** — Европейский институт по стандартам электросвязи.

**erlang (erl)** — эрланг: единица измерения трафика [эрл]. В общем случае интенсивность трафика в эрлангах находится как произ-

ведение среднего времени обслуживания вызова (продолжительности разговора) на среднее число вызовов в единицу времени. Эти оценки обычно делают в час пик, т. е. в период максимальной нагрузки сети. Трафик в 0,5 эрл означает, что канал занят 0,5 часа в час пик.

**External Handover** — внешний хендовер: процесс переключения связи, выполняемый от одной стационарной части FP к другой.

**Field** — поле: непрерывная область данных (то есть смежные биты), передающая информацию совместно. Типично сообщение содержит несколько полей. Если данные не непрерывны, они определяются как два (или более) поля.

**Fixed Part, FP** — стационарная (фиксированная) часть: физическая группировка, которая содержит все элементы в DECT сети между локальной сетью и эфирным интерфейсом DECT. DECT FP содержит логические элементы по крайней мере одной стационарной части FT, плюс дополнительные специфические элементы реализации.

**Fixed radio Termination, FT** — стационарное радиоокончание (стационарная часть FT): логическая группа функций, которая содержит все процессы и процедуры DECT на стационарной стороне эфирного интерфейса DECT. Стационарная часть FT включает только те элементы, которые определены в DECT стандарте общего интерфейса CI [1—8]. Радиоокончание содержит элементы радиопередачи (уровень 1) вместе с набором элементов уровня 2 и уровня 3.

**Flow control** — управление потоком данных: механизм, который используется для того, чтобы регулировать поток данных между двумя равноправными объектами.

**Fragment** — фрагмент: один из сервисных блоков данных SDU (*Service Data Units*), произведенный в процессе фрагментации. Это не то же самое, что сегмент (*segment*).

**Fragmentation** — фрагментация: процесс деления протокольного блока данных PDU (Protocol Data Unit) на несколько сервисных

блоков данных SDU для доставки к нижнему уровню. Обратный процесс — рекомбинация (*recombination*). Это не то же самое, что сегментация (*segmentation*).

**Frame** — кадр, фрейм.

**Full slot, slot** — полный слот (слот): одна двадцать четвертая часть TDMA (МДВР) кадра (фрейма), используемая для поддержки одного физического канала.

**Gaussian Frequency Shift Keying, GFSK** — гауссовская частотная манипуляция: процесс цифровой модуляции.

**Generic Access Profile, GAP** — общий профиль доступа: базовый профиль DECT, относящийся ко всем портативным и стационарным частям DECT, которые поддерживают услуги телефонии с полосой 3,1 кГц независимо от типа сети доступа. Профиль состоит из минимальных обязательных требований, которые позволяют устанавливать, поддерживать и разрывать соединение между FT и PT с соответствующими правами доступа, независимо от того, обеспечивает ли стационарная часть FP услуги, связанные с местом жительства, бизнесом или общим доступом. Он определяет минимальный обязательный набор технических требований для обеспечения совместимости между любой стационарной и портативной частью DECT GAP. GAP является стандартом, дополняющим основной стандарт DECT CI, и гарантирует взаимодействие между FP и PP от различных производителей.

**Geographically unique (geographically unique identity)** — географическая уникальность (географически уникальный идентификатор): этот термин касается идентификаторов FP, первичных идентификаторов полномочий доступа PARI и идентификаторов стационарной радиочасти RFPI. Он означает, что две стационарные части FP с одинаковыми PARI или, соответственно, две RFP с одинаковыми RFPI, не могут функционировать на одной географической территории.

**GIP, DECT/GSM Interworking Profile** — профиль совместимости DECT/GSM: определяет требования протокола по взаимодейст-

вию портативной части DECT с сетью GSM через стационарную часть DECT.

**Global Network, GNW** — глобальная сеть: телекоммуникационная сеть, способная предоставлять услуги дальней связи (*long distance telecommunication*). Термин не включает правовые или регулирующие аспекты, не указывает, является ли сеть частной или сетью общего пользования.

**Globally Unique Identity** — глобально уникальная идентификация: идентификация, уникальная (однозначная, единственная) в пределах DECT без географических или других ограничений.

**Guard space** — пространство защиты, защитный интервал: номинальный интервал между концом передачи данного слота и началом передачи следующего последовательного слота. Этот интервал включается в конец каждого слота, чтобы предотвратить совмещение по времени (наложение) последовательно передаваемых слотов, даже когда они сформированы с использованием немного отличающихся по временной синхронизации опорных последовательностей, например, в различных радиоокончаниях.

**Half Slot** — полуслот: одна сорок восьмая часть TDMA кадра, используемая для поддержания одного физического канала.

**Handover** — хендовер, эстафетная передача обслуживания: процесс, при котором происходит переключение вызова (*switching a call*) из одного физического канала в другой. Он выполняется очень быстро, без влияния на качество связи, и пользователи не замечают этого. Возможны два вида эстафетной передачи: внутрисотовый хендовер (*Intracell handover*) и межсотовый хендовер (*Intercell handover*). Внутрисотовый хендовер всегда внутренний (*internal*), межсотовый хендовер может быть внутренним или внешним (*external*).

**Incoming Call** — входящий (поступающий) вызов: вызов, полученный PP.

**Intercell Handover** — межсотовый хендовер: переключение вызова (передача обслуживания), происходящее от одной соты к другой.

**Internal handover** — внутренний хендовер: процессы эстафетной передачи, которые являются полностью внутренними для одной FT. Внутренняя передача переключает (повторно подключает) вызов в нижних уровнях при поддержании запроса в уровне NWK. Переключение нижнего уровня может происходить также в уровне DLC (*connection handover*) или в уровне MAC (*bearer handover*).

**Inter-operability, Interoperability** — способность к взаимодействию (сетей): возможности стационарных FP и подвижных PP частей, которые дают PP право на получение доступа к услугам телесервиса более, чем в одной области расположения (*Location Area*), и/или более, чем у одного оператора (больше чем у одного поставщика услуг).

**Inter-operator roaming, Interoperator roaming** — межоператорный роуминг: перемещение между областями покрытия FP различных операторов (различных поставщиков услуг).

**Interworking Unit, IWU** — блок взаимодействия (сопряжения): блок, используемый для того, чтобы связать подсети (*subnetworks*). IWU будет содержать функции IWF (InterWorking Functions), необходимые для поддержания требуемого взаимодействия подсети.

**Intracell Handover** — внутрисотовый хендовер: переключение вызова (связи), совершаемое с одного физического канала соты на другой физический канал этой же самой соты.

**Intraoperator Roaming** — внутриоператорный роуминг: перемещение между различными областями покрытия FP одного и того же оператора (тот же самый поставщик услуг).

**Link** — звено связи (См. *DLC data link*).

**Local Network, LNW** — локальная сеть: телекоммуникационная сеть, способная на предоставление услуг локальной связи (*local telecommunication services*). Термин не включает правовые или регулирующие аспекты, не указывает, является ли сеть частной или сетью общего пользования.

**Locally Unique Identity** — локально уникальный идентификатор: идентификатор, уникальный (единственный в своем роде) внутри одной стационарной части FP или области расположения LA, в зависимости от применения.

**Location Area, LA** — область (зона) расположения (положения): область, в которой портативная часть PP может получать (и/или производить) вызовы в результате единственной регистрации расположения.

**Location Registration** — регистрация расположения: процесс, посредством которого позиция DECT портативного окончания PT определяется (устанавливается) на плоскость одной области расположения (*location area*), и эта позиция обновляется в одной или более базах данных. Эти базы данных не включаются внутри DECT стационарной части FT.

**Logical Channel** — логический канал: общий термин для любого определенного пути передачи данных.

**Lower Layer Management Entity (LLME)** — объект управления нижнего уровня: объект управления, который охватывает ряд нижних уровней (NWK, DLC, MAC и PHL). Используется для описания всех действий управления, которые не следуют правилам иерархического представления, т. е. традиционному уровневому описанию функционирования системы.

**Lower Tester (LT)** — нижний тестер: логическая группировка, которая содержит тестовое (испытательное) оборудование, функциональный эквивалент (*functionally equivalent*) DECT PT, функциональный эквивалент DECT FT и тестовый контроллер (*test controller*).

**MAC bearer, bearer** — MAC (однаправленный) канал, (однаправленный) канал: сервисные элементы, которые обеспечиваются каждой функцией участка соты CSF (*Cell Site Function*). Каждый MAC однаправленный канал соответствует одиночному сервисному обращению к физическому уровню. См. также *simplex bearer, duplex bearer and double simplex bearer*.

**MAC connection, connection** — MAC соединение: соединение между одним объектом-источником MAC многоканального управления МВС (*Multi-Bearer Control*) и одним объектом-адресатом MAC МВС. Оно обеспечивает набор MAC связанных услуг (набор логических каналов) и может включать один или более основных MAC однонаправленных каналов.

**Multi-channel RFP** — многоканальная стационарная радиочасть RFP: RFP, которая может работать более чем с одной дуплексной парой физических каналов на кадр.

**Multiframe** — мультифрейм: повторяющаяся последовательность из 16 следующих один за другим TDMA кадров, которая позволяет мультиплексировать низкоскоростную или спорадическую информацию. Это может быть, например, основная системная информация или пейджинг.

**Network (telecommunication network)** — сеть (телекоммуникационная сеть): все средства предоставления услуг связи ряду пунктов размещения с доступом к услугам, происходящим с помощью оборудования, подключенного к сети.

**Node** — узел: точка, в которой происходит коммутация.

**Normal Transmitted Power, NTP** — нормальная передаваемая мощность: передаваемая мощность, усредненная от начала бита  $r_0$  до конца физического пакета. Для DECT она не должна превышать 250 мВт (24 дБм).

**Operator (DECT operator)** — оператор (оператор DECT): некоторое лицо или объект, которое или который является ответственным за работу одной или более DECT FP. Термин не подразумевает любые правовые или регулирующие аспекты, также не подразумевает любые аспекты прав собственности.

**Outgoing Call** — исходящий вызов: вызов, инициируемый портативной частью PP.

**Paging** — пейджинг, вызов: процесс передачи сообщения одной или более DECT портативным частям PP от DECT FP. Возможны



различные типы пейджинговых сообщений. Например, сообщение {Request paging} предписывает, чтобы получатель ответил попыткой установки вызова.

**Paging Area** — область пейджинга: область, в которой пейджинговый вызов (*paging*) РР будет являться частью установления входящего вызова (*incoming call*). Вообще, область пейджинга будет равна ТРУИ области, т. е. области применения временного идентификатора пользователя портативного устройства ТРУИ, так как идентификатор ТРУИ используется для пейджинга.

**Parts per million** — коэффициент в ppm представляет собой миллионную часть параметра: величина параметра в ppm = величина параметра · 10<sup>-6</sup>.

**Physical channel (channel)** — физический канал (иногда просто: канал): симплексный канал, создаваемый при передаче в одном отдельном временном слоте (*particular slot*) на одном отдельном РЧ канале (*particular RF channel*) в последовательных TDMA кадрах (*TDMA frames*). Один физический канал обеспечивает симплексное обслуживание (*simplex service*). Чтобы обеспечить дуплексное обслуживание (*duplex service*), требуются два физических канала.

**Portable Access Rights Key, PARK** — ключ прав доступа портативного устройства: имеющийся у каждой стационарной части РР элемент идентификации, устанавливающий права доступа для РР.

**Portable Application, PA** — портативное приложение: логическая группировка, содержащая все элементы, которые находятся вне границ сети DECT на портативной стороне. Функции, содержащиеся в портативном приложении, могут быть физически (конструктивно) распределены, но любое такое распределение прозрачно для сети DECT.

**Portable Handset, PHS** — портативное (носимое) устройство, абонентская трубка: одиночная физическая группировка, содержащая все портативные элементы, которые необходимы для обес-

печения телесервиса пользователю. PHS является подмножеством всех возможных портативных частей (*portable parts*). Это подмножество содержит все физические группировки, которые объединяют одну РТ плюс, по крайней мере, одно портативное приложение в одном физическом блоке.

**Portable Part, PP** — портативная (портативная) часть, НЧ: физическая группировка, которая содержит все элементы, находящиеся между пользователем и эфирным интерфейсом (*air interface*) DECT. PP — общий термин, который может описывать одну или несколько физических частей. DECT портативная часть PP логически делится на одно портативное радиоокончание РТ плюс одно или более портативное приложение РА.

**Portable radio Termination, РТ** — портативное радиоокончание: логическая группа функций, которая содержит все процессы и процедуры DECT на портативной стороне эфирного интерфейса DECT. РТ включает только те элементы, которые определены в DECT стандарте общего интерфейса CI [1—8]. Радиоокончание содержит элементы радиопередачи (уровень 1) вместе с набором элементов уровня 2 и уровня 3.

**Power amplifier ramping** — плавное управление усилителем мощности, необходимое для создания требуемой формы огибающей выходного сигнала передатчика.

**Primitive** — примитив: отдельный (но абстрактный) элемент данных, передаваемый между смежными уровнями протокола. Сервисный примитив содержит один сервисный блок данных SDU.

**Private** — частный: атрибут, указывающий, что приложение — например, сеть, оборудование, обслуживание — с таким квалифицирующим термином, предлагается или представляет интерес для определенного круга пользователей. Термин не включает любые правовые или регулирующие аспекты, не указывает на любые аспекты собственности.

**Private Branch Exchange, PBX** — учрежденческая (частная) телефонная станция.

**Private Automatic Branch Exchange, PABX** — учрежденческая (частная) автоматическая телефонная станция.

**Proportional to absolute temperature, PTAT** — вырабатываемое специальным блоком ИС напряжение, пропорциональное температуре ИС, которое вводится в цепь АРУ так, чтобы общий коэффициент усиления ИС был нечувствителен к изменениям температуры.

**Public** — общий, общего пользования: атрибут, указывающий на то, что приложение с таким квалифицирующим термином, например, сеть, оборудование, сервис, предлагается для использования в интересах широкой публики.

**Public Access Network** — сеть общего доступа.

**Public Access Profile (PAP)** — профиль общего доступа: определенная часть стандарта ETS 300 175-9, которая обеспечивает между стационарными FP и портативными PP частями способность к взаимодействию для предоставления услуг общего доступа.

**Public Access Service** — сервис (услуги, обслуживание) общего пользования: сервис, обеспечивающий доступ к сети общего пользования для широкой публики. Термин не подразумевает любые правовые или регулирующие аспекты, также не подразумевает любые аспекты прав собственности.

**Radio channel** — радиоканал: не определенное стандартом значение. См. РЧ канал (*RF channel*) или физический канал (*physical channel*).

**Radio end point** — оконечная радиоточка: любая часть (совокупность оборудования) стационарной инфраструктуры или портативной части PP (*Portable Part*), содержащая один приемопередатчик. Оконечная радиоточка может использоваться только как приемник или только как передатчик.

**Radio Fixed Part (RFP)** — стационарная (фиксированная) радиочасть (базовая радиостанция): одна физическая подгруппа FP, которая содержит одну или более оконечных радиоточек (*radio end point*), подключенных к одной антенной системе.

**Radio local loop Access Profile, RAP** — профиль стационарного радиодоступа: определяет подмножество протокола DECT, необходимое для предоставления услуг сети общего пользования ее конечным пользователям с помощью устройств стационарного радиодоступа.

**RAND\_F** — случайный запрос (*Random challenge*), FT в процессе аутентификации.

**RAND\_P** — случайный запрос, выдаваемый FT.

**Receiver Scan Sequence** — последовательность сканирования (просмотра) приемником каналов.

**Registration** — регистрация (прописка): неоднозначный термин, который всегда должен быть квалифицирован (ограничен). См. «регистрация расположения» (*location registration*) или «прописка, регистрация прописки» (*subscription registration*).

**RF carrier (carrier)** — РЧ несущая частота (несущая): центральная частота, занятая одной DECT передачей.

**Repeater Part, REP** — ретранслирующая часть (репитер, повторитель): WRS, которая передает информацию внутри временного интервала, равного половине кадра.

**Received Signal Strength Indication, RSSI** — индикация уровня принимаемого сигнала — процесс оценки качества связи при использовании данного канала связи.

**RF channel** — РЧ канал: номинальный диапазон частот (РЧ спектр), выделенный для передачи одной РЧ несущей частоты DECT.

**Roaming** — роуминг (роминг): перемещение портативной части PP из области покрытия одной FP к области покрытия другой FP, когда возможности стационарных частей позволяют PP производить или получать вызовы в обеих областях. Роуминг требует, чтобы соответствующие FP и PP были способны к межоператорному взаимодействию (*inter-operable*). В более общем применении: роуминг — это процесс использования абонентского устройства вне обычной области обслуживания, напри-

мер, при путешествиях, с использованием одного абонентского (идентификационного) номера.

**Roaming service:** роуминговое обслуживание: обслуживание, которое может использоваться в области покрытия более чем одной стационарной части FP.

**Segment** — сегмент: одна часть данных, полученная в результате процесса сегментации.

**Segmentation** — сегментация: процесс разбиения, декомпозиции одного сервисного блока данных SDU верхнего уровня на более чем один протокольный блок данных PDU. Обратный процесс — сборка (*assembly*).

**Sequencing (sequence numbering)** — упорядочение, (нумерация последовательности): процесс добавления порядкового номера к набору пакетов данных так, чтобы пакеты могли снова собираться в нужном порядке, независимо от порядка, в котором они получены. См. также *segmentation*.

**Simplex bearer** — симплексный однонаправленный канал: сервис уровня MAC, который обеспечивается с использованием одного физического канала. См. также *duplex bearer* и *double simplex bearer*.

**Single Radio Fixed Part, SRFP** — одиночная стационарная радиочасть: стационарная радиочасть FP, содержащая только одно радиоокончание (*radio end point*). SRFP определена для анализа системы DECT. Если не установлено иначе, SRFP введена для поддержки многих вызовов и ограничена только емкостью одиночного радиоокончания.

**Subscriber (customer)** — абонент, заказчик, подписчик: физическое или юридическое лицо, подписавшееся на услуги связи, и, следовательно, являющееся ответственным за их оплату.

**Subscription registration** — регистрация прописки (подписки), прописка: не часто случающаяся стандартизированная процедура ввода регистрационных данных, посредством которой або-

нент получает права доступа к одной или более стационарных частей FP. Обычно регистрация прописки требуется прежде, чем пользователь сможет производить или получать вызовы. Прописка может производиться по эфиру (*on-air*), с использованием клавиатуры (*keypad*) или DECT модуля аутентификации (*DECT authentication module*).

**Supplementary Service (SS)** — дополнительная услуга: услуга, которая изменяет или дополняет основное телекоммуникационное обслуживание. Для DECT определены три функциональные группы дополнительных услуг: прозрачные (TRANSPARENT), стандартные (STANDARD) и специфические (SPECIFIC) [1,5].

**Switching** — коммутация: процесс взамоединения функциональных узлов, каналов передачи или схем связи для обеспечения передачи сигналов.

**Synchronization sequence** — синхронизирующая последовательность: 32-битовая серия чередующихся символов «1» и «0». В системе DECT — так называемое S-поле физических пакетов.

**TDMA frame** — TDMA (МДВР) кадр (фрейм): мультиплексированная регулярная структура с временным разделением (*time-division multiplex*) продолжительностью 10 мс, содержащая 24 последовательных полных слота (*full slot*). TDMA кадр начинается первым разрядным временным промежутком 0 полного слота и заканчивается последним разрядным временным промежутком 23 полного слота.

**Teleservice** — телесервис: тип телекоммуникационного обслуживания, которое обеспечивает полную возможность связи между пользователями, включая функции терминального оборудования (*terminal equipment functions*), согласно протоколам, установленным соглашениями.

**TPUI domain** — TPUI область: область (территория), в которой каждый временный идентификатор пользователя портативного устройства TPUI (*Temporary Portable User Identity*) является локально уникальным. В общем случае TPUI область будет равна

области пейджинга (*paging area*) и, таким образом, равна области расположения (*location area*).

**Universal Mobile Telecommunications Systems (UMTS)** — европейская концепция систем третьего поколения.

**U-plane, user plane** — U-план, пользовательский план (уровень) пакетов протокола DECT. Этот уровень содержит сквозную (внешнюю) пользовательскую информацию и пользовательское управление. Протоколы U-плана не включают любое внутреннее DECT управление протоколом, это может быть пустой указатель в NWK уровне и в DLC уровнях для некоторых услуг.

**Up link, Up-Link, UL** — линия связи вверх: направление передачи по радиointерфейсу от мобильной станции MC (PT) к базовой станции BC (FT).

**User (of a telecommunication network)** — пользователь (телекоммуникационной сети): человек или машина, уполномоченный абонентом (подписчиком, заказчиком) использовать услуги и/или средства телекоммуникационной сети.

**Wireless Relay Station (WRS)** — беспроводная ретрансляционная (релейная) станция: физическая группировка, которая объединяет элементы портативной PT и стационарной FT частей, для передачи информации с физического канала одного DECT окончания на физический канал для другого DECT окончания. DECT окончанием (*DECT termination*) может быть портативная часть PT, стационарная часть FT или другая WRS.

# Нормативные документы DECT

Ниже приведена подборка основных нормативных документов DECT, составленная по материалам, содержащимся на сайтах [www.etsi.org](http://www.etsi.org) и [www.dectweb.com](http://www.dectweb.com). В силу ограниченного объема книги, для большинства документов здесь указаны только последние версии документов по состоянию на момент написания книги.

## Базовый интерфейс CI (Common Interface)

Основные стандарты этой категории приведены в списке литературы [11—19]. Разработаны новые версии некоторых из них.

**EN 300 175-1 V1.5.1 (2001-02)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 1: Overview

**EN 300 175-2 V1.6.1 (2001-08)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 2: Physical Layer (PHL)

**EN 300 175-3 V1.5.1 (2001-02)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 3: Medium Access Control (MAC) Layer

**EN 300 175-4 V1.5.1 (2001-02)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 4: Data Link Control (DLC) Layer

**EN 300 175-5 V1.5.1 (2001-02)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 5: Network (NWK) Layer

**EN 300 175-6 V1.5.1 (2001-02)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 6: Identities and Addressing

**EN 300 175-7 V1.5.1 (2001-02)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 7: Security Features



**EN 300 175-8 V1.5.1 (2001-02)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 8: Speech Coding and Transmission

**EN 300 175-9 V1.5.1 (2001-02)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 9: Public Access Profile (PAP)

**ETR 178 ed.2 (1997-01)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); A high level guide to the DECT standardization

**ETS 300 175-5 ed.3 (1997-12)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 5: Network (NWK) layer

**ETS 300 175-6/A1 ed.2 (1997-08)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 6: Identities and Addressing

**ETS 300 175-7 ed.3 (1997-09)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 7: Security features

### **Тестовые спецификации CI (CI Test Case Library)**

**EN 300 497-1 V0.3.2 (1999-09)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Test Case Library (TCL); Part 1: Test Suite Structure (TSS) and Test Purposes (TP) for Medium Access Control (MAC) layer

**EN 300 497-2 V0.3.1 (1999-10)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Test Case Library (TCL); Part 2: Abstract Test Suite (ATS) for Medium Access Control (MAC) layer — Portable radio Termination (PT)

**EN 300 497-3 V0.3.2 (1999-09)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Test Case Library (TCL); Part 3: Abstract Test Suite (ATS) for Medium Access Control (MAC) layer --- Fixed radio Termination (FT)

**EN 300 497-4 V0.3.0 (1999-10)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Test Case Library

(TCL); Part 4: Test Suite Structure (TSS) and Test Purposes (TP) - Data Link Control (DLC) layer

**EN 300 497-5 V0.3.0 (1999-10)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Test Case Library (TCL); Part 5: Abstract Test Suite (ATS) - Data Link Control (DLC) layer

**EN 300 497-6 V0.3.2 (1999-09)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Test Case Library (TCL); Part 6: Test Suite Structure (TSS) and Test Purposes (TP) - Network (NWK) layer - Portable radio Termination (PT)

**EN 300 497-7 V0.3.0 (1999-10)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Test Case Library (TCL); Part 7: Abstract Test Suite (ATS) for Network (NWK) layer - Portable radio Termination (PT)

**EN 300 497-8 V0.3.2 (1999-09)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Test Case Library (TCL); Part 8: Test Suite Structure (TSS) and Test Purposes (TP) - Network (NWK) layer - Fixed radio Termination (FT)

**EN 300 497-9 V0.3.2 (1999-09)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Test Case Library (TCL); Part 9: Abstract Test Suite (ATS) for Network (NWK) layer - Fixed radio Termination (FT)

### **Приемочные испытания (Approval Testing)**

**EN 300 176-1 V1.3.2 (1999-06)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Approval test specification; Part 1: Radio

**EN 300 176-2 V1.3.2 (1999-06)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Approval test specification; Part 2: Speech

### **Профиль GAP (Generic Access Profile & GAP Test Specification)**

**EN 300 444 V1.2.2 (1997-08)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Generic Access Profile (GAP)

**EN 300 444 V1.3.3 (1999-05)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Generic Access Profile (GAP)

**ETS 300 494-1/A1 ed.1 (1998-08)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Generic Access Profile (GAP); Profile Test Specification (PTS); Part 1: Summary

**EN 300 494-1 V1.2.1 (1999-08)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Generic Access Profile (GAP); Profile Test Specification (PTS); Part 1: Summary

**ETS 300 494-2/A1 ed.1 (1998-02)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Generic Access Profile (GAP); Profile Test Specification (PTS); Part 2: Profile Specific Test Specification (PSTS) - Portable radio Termination (PT)

**EN 300 494-2 V1.2.1 (1999-08)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Generic Access Profile (GAP); Profile Test Specification (PTS); Part 2: Profile Specific Test Specification (PSTS) - Portable radio Termination (PT)

**ETS 300 494-3/A1 ed.1 (1998-02)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Generic Access Profile (GAP); Profile Test Specification (PTS); Part 3: Profile Specific Test Specification (PSTS) - Fixed radio Termination (FT)

**EN 300 494-3 V1.2.1 (1999-08)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Generic Access Profile (GAP); Profile Test Specification (PTS); Part 3: Profile Specific Test Specification (PSTS) - Fixed radio Termination (FT)

## **Передача данных (Data Services Profile)**

**EN 301 238 V1.1.3 (1998-06)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Data Services Profile (DSP); Isochronous data bearer services with roaming mobility (service type D, mobility class 2)

**EN 301 239 V1.1.3 (1998-06)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Data Services Profile (DSP); Isochronous data bearer services for closed user groups (service type D, mobility class 1)

**EN 301 240 V1.1.3** (1998-06) — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Data Services Profile (DSP); Point-to-Point Protocol (PPP) interworking for internet access and general multi-protocol datagram transport

**ETS 300 755 ed.1** (1997-05) — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Data Services Profile (DSP); Multimedia Messaging Service (MMS) with specific provision for facsimile services (service type F, class 2)

**ETS 300 757 ed.1** (1997-04) — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Data Services Profile (DSP); Low rate messaging service (service type E, class 2)

### **Сопряжение DECT-GSM (DECT/GSM Interworking)**

**EN 300 703 V1.2.2** (1998-02) — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Global System for Mobile communications (GSM); DECT/GSM Interworking Profile (IWP); GSM Phase 2 supplementary services implementation

**EN 301 242 V1.2.2** (1999-09) — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Global System for Mobile communications (GSM); DECT/GSM integration based on dual-mode terminals

**EN 301 439 V1.1.1** (1999-03) — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Global System for Mobile communications (GSM); Attachment requirements for DECT/GSM dual-mode terminal equipment

**ETS 300 370 ed.2** (1998-02) — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Global System for Mobile communications (GSM); DECT/GSM Interworking Profile (IWP); Access and mapping (protocol/procedure description for 3,1 kHz speech service)

**ETS 300 702-[2-3] ed.1** (1997-03) — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Global System for Mobile communications (GSM); DECT/GSM Interworking Profile (IWP); Profile Test Specificati-

on (PTS); Profile Specific Test Specification (PSTS); Part 2: Portable radio Termination (PT); Part 3: Fixed radio Termination (FT)

**ETS 300 704-[1-2]** ed.1 (1997-03) — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Global System for Mobile communications (GSM); DECT/GSM Interworking Profile (IWP); Profile Implementation Conformance Statement (ICS); Part 1: Portable radio Termination (PT); Part 2: Fixed radio Termination (FT)

**ETS 300 756** ed.1 (1997-03) — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Global System for Mobile communications (GSM); DECT/GSM Interworking Profile (IWP); Implementation of bearer services

**ETS 300 764** ed.1 (1997-05) — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Global System for Mobile communications (GSM); DECT/GSM Interworking Profile (IWP); Implementation of short message service, point-to-point and cell broadcast

**ETS 300 787** ed.1 (1997-07) — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Global System for Mobile communications (GSM); Integrated Services Digital Network (ISDN); DECT access to GSM via ISDN; General description of service requirements

**ETS 300 788** ed.1 (1997-07) — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Global System for Mobile communications (GSM); Integrated Services Digital Network (ISDN); DECT access to GSM via ISDN; Functional capabilities and information flows

**ETS 300 792** ed.1 (1997-06) — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Global System for Mobile communications (GSM); DECT/GSM Interworking Profile (IWP); Implementation of facsimile group 3

**TR 101 072 V1.1.1** (1997-06) — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Global System for Mobile communications (GSM); DECT/GSM integration based on dual-mode terminals

**TR 101 176 V1.1.1** (1998-04) — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Global System for Mobile communications (GSM); DECT/GSM advanced integration of DECT/GSM dual-mode terminal equipment

## Сопряжение с сетями ISDN (ISDN Interworking)

**ETS 300 705-1 ed.1 (1997-06)** --- Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Integrated Services Digital Network (ISDN); DECT/ISDN interworking for end system configuration; Profile Implementation Conformance Statement (ICS); Part 1: Portable radio Termination (PT)

**ETS 300 705-2 ed.1 (1997-06)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Integrated Services Digital Network (ISDN); DECT/ISDN interworking for end system configuration; Profile Implementation Conformance Statement (ICS); Part 2: Fixed radio Termination (FT)

**ETS 300 758-1 ed.1 (1997-04)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Integrated Services Digital Network (ISDN); DECT/ISDN interworking for end system configuration; Profile Test Specification (PTS); Part 1: Summary

**ETS 300 758-2 ed.1 (1997-04)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Integrated Services Digital Network (ISDN); DECT/ISDN interworking for end system configuration; Profile Test Specification (PTS); Part 2: Profile Specific Test Specification (PSTS) for Portable radio Termination (PT)

**ETS 300 758-3 ed.1 (1997-04)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Integrated Services Digital Network (ISDN); DECT/ISDN interworking for end system configuration; Profile Test Specification (PTS); Part 3: Profile Specific Test Specification (PSTS) for Fixed radio Termination (FT)

**ETS 300 822 ed.1 (1998-04)** -- Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Integrated Services Digital Network (ISDN); DECT/ISDN interworking for intermediate system configuration; Interworking and profile specification

**EN 301 241-1 V1.1.1 (1998-12)** --- Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Integrated Services Digital Network (ISDN); DECT/ISDN interworking for intermediate system configuration; Profile

Implementation Conformance Statement (ICS); Part 1: Portable radio Termination (PT)

**EN 301 241-2 V1.1.1 (1998-12)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Integrated Services Digital Network (ISDN); DECT/ISDN interworking for intermediate system configuration; Profile Implementation Conformance Statement (ICS); Part 2: Fixed radio Termination (FT)

**EN 301 361-1 V1.1.1 (1999-10)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Integrated Services Digital Network (ISDN); ISDN Mobility protocol Interworking specification Profile (IMIP); Part 1: DECT/ISDN interworking for Cordless Terminal Mobility (CTM) support

**EN 301 440 V1.2.2 (1999-01)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Integrated Services Digital Network (ISDN); Attachment requirements for terminal equipment for DECT/ISDN interworking profile applications

**EN 301 614-1 V1.1.2 (1999-02)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Integrated Services Digital Network (ISDN); DECT/ISDN interworking for intermediate system configuration; Part 1: Profile Test Specification (PTS) summary

**EN 301 614-2 V1.1.2 (1999-02)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Integrated Services Digital Network (ISDN); DECT/ISDN interworking for intermediate system configuration; Part 2: Profile Specific Test Specification (PSTS) for Portable radio Termination (PT)

**EN 301 614-3 V1.1.2 (1999-02)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Integrated Services Digital Network (ISDN); DECT/ISDN interworking for intermediate system configuration; Part 3: Profile Specific Test Specification (PSTS) for Fixed radio Termination (FT)

**ETS 101 679 V1.1.1 (1999-07)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Broadband Integrated Services Digital Network (B-ISDN); DECT/B-ISDN interworking

## **Сети общего доступа CTM (Cordless Terminal Mobility & CTM Access profile CAP)**

**ETS 300 824 ed.1 (1997-10)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Cordless Terminal Mobility (CTM); CTM Access Profile (CAP)

**EN 300 824 V1.2.2 (1999-09)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Cordless Terminal Mobility (CTM); CTM Access Profile (CAP)

**EN 301 371-1 V0.0.1 (1999-09)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Cordless Terminal Mobility (CTM); CTM Access Profile (CAP); Profile Test Specification (PTS); Part 1: Summary

**EN 301 371-2 V0.0.1 (1999-09)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Cordless Terminal Mobility (CTM); CTM Access Profile (CAP); Profile Test Specification (PTS); Part 2: Profile Specific Test Specification (PSTS) — Portable radio Termination (PT)

**EN 301 371-3 V0.0.3 (1999-09)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Cordless Terminal Mobility (CTM); CTM Access Profile (CAP); Profile Test Specification (PTS); Part 3: Profile Specific Test Specification (PSTS) — Fixed radio Termination (FT)

**EN 302 096 V0.2.3 (1999-11)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Cordless Terminal Mobility (CTM); Feature Package 1 (FP1); CTM circuit-switched data profile, 32 kbit/s and 64 kbit/s Unrestricted Digital Information (UDI)

## **Релейные станции WRS и Radio in the Local Loop RLL**

**ETS 300 700 ed.1 (1997-03)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Wireless Relay Station (WRS) Radio in the Local Loop RLL

**ETS 300 765-1 ed.1 (1997-08)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Radio in the Local Loop (RLL) Access Profile (RAP); Part 1: Basic telephony services



ETS 300 765-2 ed.1 (1998-04) — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Radio in the Local Loop (RLL) Access Profile (RAP); Part 2: Advanced telephony services

### **Использование DECT на других частотах**

TR 101 159 V1.1.1 (1998-02) — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Implementing DECT in an arbitrary spectrum allocation

TR 101 159 V1.2.1 (1998-06) — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Implementing DECT in an arbitrary spectrum allocation

TR 101 370 V1.1.1 (1998-09) — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Implementing DECT Fixed Wireless Access (FWA) in an arbitrary spectrum allocation

### **Модули аутентификации DAM (DECT Authentication Module)**

ETS 300 759 ed.1 (1997-10) — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); DECT Authentication Module (DAM); Test specification for DAM

ETS 300 760 ed.1 (1997-06) — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); DECT Authentication Module (DAM); Implementation Conformance Statement (ICS) proforma specification

ETS 300 825 ed.1 (1997-10) — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); 3 Volt DECT Authentication Module (DAM)

### **Общие технические требования TBR (Technical Basis for Regulation)**

TBR 006 ed.3 (1999-06) — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); General terminal attachment requirements

**TBR 010 ed.3 (1999-07)** -- Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); General Terminal Attachment Requirements; Telephony Applications

**TBR 022/A1 ed.1 (1998-03)** -- Radio Equipment and Systems (RES); Attachment requirements for terminal equipment for Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) Generic Access Profile (GAP) applications

**TBR 036 ed.1 (1998-05)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Global System for Mobile communications (GSM); DECT access to GSM Public Land Mobile Networks (PLMNs) for 3,1 kHz speech applications

**TBR 040 ed.1 (1998-06)** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Integrated Services Digital Network (ISDN); Attachment requirements for terminal equipment for DECT/ISDN interworking profile applications

## **Неопубликованные документы ETSI**

На момент написания книги ряд документов, находящихся в завершающей стадии разработки, были готовы или почти завершали прохождение формальных процедур одобрения ETSI, но еще не были изданы этой организацией. Некоторые документы, разрабатываемые ETSI, прежде всего, для поддержки услуг мобильных систем связи третьего поколения IMT и UMTS, еще далеки от момента публикации, и многим из них даже не присвоены полные номера, однако, сведения о них могут быть полезны специалистам. Более полную информацию можно получить на сайте [www.etsi.org](http://www.etsi.org).

**TS V0.0.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications; (DECT) Support of IMT-2000 Signalling.

**EN 300 175-1** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 1: Overview

**EN 300 175-2** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 2: Physical Layer (PHL)

**EN 300 175-3** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 3: Medium Access Control (MAC) Layer

**EN 300 175-4** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 4: Data Link Control (DLC) layer

**EN 300 175-5** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 5: Network (NWK) layer

**EN 300 175-6** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 6: Identities and Addressing

**EN 300 175-7** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 7: Security Features

**EN 300 175-8** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 8: Speech Coding and Transmission

**TS V0.0.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) Interworking with UMTS

**EN V0.0.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) [Candidate] DECT/GSM Dual Mode Applications Harmonised Standard

**EN V0.0.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) [Candidate] Generic Radio Harmonised Standard.

**EN 300 757** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Data Services Profile (DSP); Low rate messaging service (service type E, class 2)

**EN** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) Application Specific Access Profile (ASAP); Multimedia in Radio-in-the-local-loop Access Profile (MRAP)

**TR 102 185** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Data Services Profile (DSP); Profile overview

**EN 301 649** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); DECT Packet Radio Services (DPRS)

**EN 300 705-1 V1.2.1** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Integrated Services Digital Network (ISDN); DECT/ISDN

interworking for end system configuration; Profile Implementation Conformance Statement (ICS); Part 1: Portable radio Termination (PT)

**EN 300 705-2 V1.2.1** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Integrated Services Digital Network (ISDN); DECT/ISDN interworking for end system configuration; Profile Implementation Conformance Statement (ICS); Part 2: Fixed radio Termination (FT)

**EN 300 474-1 V1.2.1** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Generic Access Profile (GAP); Profile requirement list and profile specific Implementation Conformance Statement (ICS) proforma; Part 1: Portable radio Termination (PT)

**EN 300 474-2 V1.2.1** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Generic Access Profile (GAP); Profile requirement list and profile specific Implementation Conformance Statement (ICS) proforma; Part 2: Fixed radio Termination (FT)

**EN V0.0.1** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Cordless Terminal Mobility (CTM); CTM Access Profile (CAP); Profile requirement list and profile specific Implementation Conformance Statement (ICS) proforma; Part 1: Portable radio Termination (PT)

**EN V0.0.1** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Cordless Terminal Mobility (CTM); CTM Access Profile (CAP); Profile requirement list and profile specific Implementation Conformance Statement (ICS) proforma; Part 2: Fixed radio Termination (FT)

**EN V0.0.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); DECT Multimedia Access Profile (DMAP); Profile Test Specification (PTS); Part 1: Summary

**EN V0.0.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); DECT Multimedia Access Profile (DMAP); Profile Test Specification (PTS); Part 2: Profile Specific Test Specification (PSTS) - Portable radio Termination (PT)

**EN V0.0.0** -- Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); DECT Multimedia Access Profile (DMAP); Profile Test Specification (PTS); Part 3: Profile Specific Test Specification (PSTS) - Fixed radio Termination (FT)

**EN V0.0.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); DECT Media Access Profile (DMAP); Profile Implementation Conformance Statement (ICS); Portable radio Termination (PT)

**EN V0.0.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); DECT Media Access Profile (DMAP); Profile Implementation Conformance Statement (ICS); Fixed radio Termination (FT)

**EN 300 497-1 V1.4.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Test Case Library (TCL); Part 1: Test Suite Structure (TSS) and Test Purposes (TP) for Medium Access Control (MAC) layer

**EN 300 497-2 V1.4.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Test Case Library (TCL); Part 2: Abstract Test Suite (ATS) for Medium Access Control (MAC) layer - Portable radio Termination (PT)

**EN 300 497-3 V1.4.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Test Case Library (TCL); Part 3: Abstract Test Suite (ATS) for Medium Access Control (MAC) layer - Fixed radio Termination (FT)

**EN 300 497-4 V1.4.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Test Case Library (TCL); Part 4: Test Suite Structure (TSS) and Test Purposes (TP) - Data Link Control (DLC) layer

**EN 300 497-5 V1.4.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Test Case Library (TCL); Part 5: Abstract Test Suite (ATS) - Data Link Control (DLC) layer

**EN 300 497-6 V1.4.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Test Case Library (TCL); Part 6: Test Suite Structure (TSS) and Test Purposes (TP) - Network (NWK) layer - Portable radio Termination (PT)

**EN 300 497-7 V1.4.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Test Case Library (TCL); Part 7: Abstract Test Suite (ATS) for Network (NWK) layer - Portable radio Termination (PT)

**EN 300 497-8 V1.4.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Test Case Library (TCL); Part 8: Test Suite Structure (TSS) and Test Purposes (TP) - Network (NWK) layer - Fixed radio Termination (FT)

**EN 300 497-9 V1.4.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Test Case Library (TCL); Part 9: Abstract Test Suite (ATS) for Network (NWK) layer - Fixed radio Termination (FT)

**EN 300 176-1** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Approval test specification; Part 1: Radio

**EN 300 176-2** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Approval test specification; Part 2: Speech

**EN** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) DECT Packet Radio Services; Profile requirement list and profile specific Implementation Conformance Statement (ICS) proforma Part 1; Portable Radio Termination (PT)

**EN V0.0.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) DECT Packet Radio Services; Profile requirement list and profile specific Implementation Conformance Statement (ICS) proforma Part 2; Fixed Radio Termination (FT)

**EN 301 469-1 V1.2.1** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Data Services Profile (DSP) Test Case Library. Part 1: Test Suite Structure (TSS) and Test Purposes (TP) — Medium Access Control (MAC) layer

**EN 301 469-2 V1.2.1** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); DECT Packet Radio Service (DPRS) Test Case Library (TCL); Part 2: Abstract Test Suite (ATS) — Medium Access Control (MAC) layer — Portable radio Termination (PT)

**EN 301 469-3 V1.2.1** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); DECT Packet Radio Service (DPRS) Test Case Library (TCL); Part 3: Abstract Test Suite (ATS) — Medium Access Control (MAC) layer — Fixed radio Termination (FT)

**EN 301 469-4 V1.2.1** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); DECT Packet Radio Service (DPRS) Test Case Library

(TCL); Part 4: Test Suite Structure (TSS) and Test Purposes (TP) — Data Link Control (DLC) layer

**EN 301 469-5 V1.2.1** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); DECT Packet Radio Service (DPRS) Test Case Library (TCL); Part 5: Abstract Test Suite (ATS) — Data Link Control (DLC) layer - Portable radio Termination (PT)

**EN 301 469-6 V1.2.1** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); DECT Packet Radio Service (DPRS) Test Case Library (TCL); Part 6: Abstract Test Suite (ATS) — Data Link Control (DLC) layer - Fixed radio Termination (FT)

**EN 301 469-7 V1.2.1** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); DECT Packet Radio Service (DPRS) Test Case Library (TCL); Part 7: Test Suite Structure (TSS) and Test Purposes (TP) - Network (NWK) layer

**EN 301 469-8 V1.2.1** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); DECT Packet Radio Service (DPRS) Test Case Library (TCL); Part 8: Abstract Test Suite (ATS) - Network (NWK) layer - Portable radio Termination (PT)

**EN 301 469-9 V1.2.1** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); DECT Packet Radio Service (DPRS) Test Case Library (TCL); Part 9: Abstract Test Suite (ATS) - Network (NWK) layer - Fixed radio Termination (FT)

**EN** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) Data Services Profile (DSP); Isochronous data bearer services with roaming capability (Service Type D, mobility class 2); Profile requirement list and profile specific Implementation Conformance Statement (ICS) proforma Part 1; Portable Radio Termination (PT).

**EN V0.0.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) Data Services Profile (DSP); Isochronous data bearer services with roaming capability (Service Type D, mobility class 2); Profile requirement list and profile specific Implementation Conformance Statement (ICS) proforma Part 2; Fixed Radio Termination (FT).

**EN** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) Data Services Profile (DSP) Low rate messaging service (service type E, class 2) ; Profile Test Specification (PTS) Part 1; Summary

**EN V0.0.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) Data Services Profile (DSP) Low rate messaging service (service type E, class 2) ; Profile Test Specification (PTS) Part 2; Profile Specific Test Specification (PSTS) - Portable Radio Termination (PT)

**EN V0.0.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) Data Services Profile (DSP) Low rate messaging service (service type E, class 2) ; Profile Test Specification (PTS) Part 3; Profile Specific Test Specification (PSTS) - Fixed Radio Termination (FT)

**EN** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) Data Services Profile (DSP); Low Rate Messaging Service (service type E, class2) ; Profile requirement list and profile specific Implementation Conformance Statement (ICS) proforma Part1; Portable Radio Terminationn (PT)

**EN V0.0.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) Data Services Profile (DSP); Low Rate Messaging Service (service type E, class2) ; Profile requirement list and profile specific Implementation Conformance Statement (ICS) proforma Part2; Fixed Radio Terminationn (FT)

**EN** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Data Services Profile (DSP); Isochronous data bearer services with roaming capability (Service Type D, mobility class 2); Profile Test Specification (PTS)) Part1; Summary

**EN V0.0.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Data Services Profile (DSP); Isochronous data bearer services with roaming capability (Service Type D, mobility class 2); Profile Test Specification (PTS)) Part2; Profile Specific Test Specification (PSTS) — Portable Radio Termination (PT)

**EN V0.0.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Data Services Profile (DSP); Isochronous data bearer services with roaming capability (Service Type D, mobility class 2); Profile Test Specification (PTS)) Part3; Profile Specific Test Specification (PSTS) — Fixed Radio Termination (FT)

**EN 300 758-1 V0.2.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Integrated Services Digital Network (ISDN); DECT/ISDN



---

interworking for end system configuration; Profile Test Specification (PTS); Part 1: Summary

**EN 300 758-2 V0.2.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Integrated Services Digital Network (ISDN); DECT/ISDN interworking for end system configuration; Profile Test Specification (PTS); Part 2: Profile Specific Test Specification (PSTS) for Portable radio Termination (PT)

**EN 300 758-3 V0.2.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Integrated Services Digital Network (ISDN); DECT/ISDN interworking for end system configuration; Profile Test Specification (PTS); Part 2: Profile Specific Test Specification (PSTS) for Fixed radio Termination (FT)

**EN V0.0.0** — Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) DECT in ISM Bands

# Литература

1. Горшгейн Л. В., Журавлев В. И. Особенности применения в России стандарта DECT, Мобильные системы. 1998, N 3, с. 5—11.
2. Виктор Пучкин, Системы мобильной связи стандарта DECT, Сети N 5/97 стр. 113—117.
3. Российские горизонты DECT, Сети N 3/98 стр. 92—96.
4. DECT: особенности развития. Сети N 8/97 стр. 36—46.
5. John Phillips, Gerard Mac Namee. Personal wireless communication with DECT and PWT, Artech House, 1998. 338 p.
6. Вестник связи. N 2, 2000, с. 18—68.
7. Щербаков А. DECT. Принципы построения систем и ИМС-комплекты. //CHIP NEWS. 1998. N 6—7. с. 2—11.
8. Архитектура, протоколы и тестирование открытых информационных сетей. Толковый словарь / В.Ф. Баумгарт и др.; Под ред. Э.А. Якубайтиса. М.: Финансы и статистика, 1989. 192 с.
9. Guenter Kleindel, DECT for ISDN and Data Services, DECT Forum NewsLetter Volume 2, Number 2.
10. Roberto Parodi, DECT for Cordless Terminal Mobility, DECT Forum NewsLetter Volume 2, Number 1.
11. ETS 300 175-1: «Radio Equipment and Systems (RES); Digital European Cordless Telecommunications (DECT) Common Interface Part 1: Overview».
12. ETS 300 175-2: «Radio Equipment and Systems (RES); Digital European Cordless Telecommunications (DECT) Common Interface Part 2: Physical layer».

13. ETS 300 175-3: «Radio Equipment and Systems (RES); Digital European Cordless Telecommunications (DECT) Common Interface Part 3: Medium access control layer» .

14. ETS 300 175-4: «Radio Equipment and Systems (RES); Digital European Cordless Telecommunications (DECT) Common Interface Part 4: Data link control layer».

15. ETS 300 175-5: «Radio Equipment and Systems (RES); Digital European Cordless Telecommunications (DECT) Common Interface Part 5: Network layer».

16. ETS 300 175-6: «Radio Equipment and Systems (RES); Digital European Cordless Telecommunications (DECT) Common Interface Part 6: Identities and addressing».

17. ETS 300 175-7: «Radio Equipment and Systems (RES); Digital European Cordless Telecommunications (DECT) Common Interface Part 7: Security features».

18. ETS 300 175-8: «Radio Equipment and Systems (RES); Digital European Cordless Telecommunications (DECT) Common Interface Part 8: Speech coding and transmission».

19. ETS 300 175-9: «Radio Equipment and Systems (RES); Digital European Cordless Telecommunications (DECT) Common Interface Part 9: Public Access Profile (PAP) ».

20. I-ETS 300 176: «Radio Equipment and Systems (RES); Digital European Cordless Telecommunications (DECT); Approval test specification».

21. ETS 300 444: «Radio Equipment and Systems (RES); Digital European Cordless Telecommunications (DECT) Generic Access Profile (GAP)».

22. ETS 300 370: «Radio Equipment and Systems (RES); Digital European Cordless Telecommunications (DECT); DECT/GSM Interworking Profile».

23. ETS 300 499: «Radio Equipment and Systems (RES); Digital European Cordless Telecommunications (DECT); DECT/GSM Interworking Profile; FP to MSC interconnection».

24. ETS 300 703: «Radio Equipment and Systems (RES); Digital European Cordless Telecommunications (DECT); DECT/GSM Interworking Profile; phase 2 supplementary services».

25. ETS 300 434: «Radio Equipment and Systems (RES); Digital European Cordless Telecommunications (DECT) and Integrated Services Digital Network (ISDN) inter-working for end system configuration; Part 1: Inter-working specification and Part 2: Access profile».

26. DE/RES-03039: «Radio Equipment and Systems (RES); Digital European Cordless Telecommunications (DECT); DECT/ISDN Interworking for Intermediate System Configuration, Part 1: Interworking Specification and Part 2: Access profile».

27. ETS 300 765-1/2: «Radio Equipment and Systems (RES); Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Radio in the local loop (RLL) Access Profile (RAP); Part 1: Basic telephony services. Part 2 : Advanced Telephony Services».

28. ETR 178: «Radio Equipment and Systems (RES); Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); A high level guide to the DECT standardisation».

29. ETS 300 700: «Radio Equipment and Systems (RES); Digital European Cordless Telecommunications (DECT); Wireless Relay Station (WRS)».

30. ETR 246 «Radio Equipment and Systems (RES); Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Application of DECT Wireless Relay Station (WRS)».

31. ETR 310: «Traffic capacity and spectrum requirements for multi-system and multi-service DECT applications co-existing in a common frequency band.»

32. Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Generic Access Profile (GAP), EN 300 444 V1.2.2 (1997-08), European Telecommunications Standards Institute, REN/DECT-050123.

33. Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 5: Network (NWK) layer, European Telecommunications Standards Institute.

34. Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Cordless Terminal Mobility (CTM); CTM Access Profile (CAP), European Telecommunications Standards Institute.

35. «Fido»: The Home Phone Gets Out, DECT Forum NewsLetter Volume 2, Number 1.

36. DECT in the Wireless Local Loop, DECT Forum NewsLetter Volume 1, Number 2.

37. DECT: Most Successful WLL Technology in 1997, DECT Forum NewsLetter Volume 2, Number 1.

38. Cooperation Agreement between ETSI and DECT Forum. DECT Forum NewsLetter Volume 2, Number 1.

39. DECT — Technology On The Road To Success. Wandel&Goltermann, bits 82.

40. DECT. The standard explained. DECT Forum, February 1997.

41. Комплекс оборудования радиотехнологии DECT DeTeWe KOMMUNICATIONSSYSTEME, Технологии и средства связи, N 2, 1998, с. 52—53.

42. Specification for the DECT ARi Interface to the Radio Frequency FrontEnd. National Semiconductor Corporation.

43. Klaus Ruffing, Cordless phones: No strings attached with SAW filters.

44. FM/IF System For DECT & Other High Speed GFSK Applications, Philips Integrated Circuits Data Sheet, AN1998.

45. AD6400 DECT CHIPSET, Analog Devices.
46. AD6402 IF Transceiver Subsystem, Analog Devices Data Sheet.
47. DECT Burst Mode Controller PCD5040/5041, Philips Integrated Circuits Data Sheet.
48. ADPCM CODEC For Digital Cordless Telephone PCD5032, Philips Integrated Circuits Data Sheet.
49. UAA2077AM Image Rejecting Front-End For DECT Applications, Philips Integrated Circuits Data Sheet.
50. Yanpeng Guo, An FM/IF system for DECT and other high speed GFSK applications, Philips AN1998.
51. UAA2067G Image Reject 1800 MHZ Transceiver DECT Applications, Philips Integrated Circuits Data Sheet.
52. CGY2030M DECT 500 mW power amplifier, Philips Integrated Circuits Data Sheet.
53. Wireless Communication Products, Siemens Solutions for Wireless Communications.
54. CGY180 — 3V 500mW RF Power Amplifier solution for DECT. Siemens RF Discrete Semiconductor Application Notes.
55. DAVID MARSH. DECT ICs<sub>SM</sub> bandwidth defeats noise, extends cordless-phone capabilities, EDN, September 1, 1997.
56. Stefan Beyer, Otmar Ripp, Guenter Steinhardt. User board speeds up DECT design. Siemens Components XXX (1995) No. 1.
57. Arno-Alexander Filbig, Common technology for all radio-frequency ICs: RF chips under one roof, Siemens Components XXXII (1997) No. 1.
58. DECT (1.9 GHz) Transmit — Receive PIN-Diode Switch --- BAR80 and BAR63-03W. Siemens RF Discrete Semiconductor Application Notes.

59. CMY91 --- Down converter application circuit for DECT systems. Siemens RF Discrete Semiconductor Application Notes.
60. Siemens Communication Product. Semiconductor Application Notes.
61. Specification for the DECT ARi Interface to the Radio Frequency Front End. National Semiconductor Application Note 908.
62. LMX2320/LMX2325 PLLatinum Frequency Synthesizer for RF Personal Communications, National Semiconductor Corporation.
63. LMX2411 — Baseband Processor for Radio Communications. National Semiconductor Corporation.
64. SC14422. Complete Baseband Processor for DECT Base Stations. National Semiconductor Corporation.
65. L.C. Colussi. Low cost DECT Power Amplifier PH9 7005. Philips Semiconductors Preliminary Application Note.
66. Demodulating with the LMX2240 150 MHz IF Receiver, National Semiconductor Application Note.
67. 3,6 and 4,8 V GSN/DCS1800 Dual Band PA Application with DECT Capability Using Standard Motorola RFICs, Motorola Semiconductor Application Note AN1602.
68. Klaus Ruffing. Cordless phones: No strings attached with SAW filters. Siemens Matsushita Components.
69. DW9249 — SAW Bandpass Filter for DECT. Mitel Corporation 1998 Publication No. AN3833 Issue No. 1.2 July 1993.
70. DW9253. 110.592MHz SAW IF Filter. Mitel Corporation 1998 Publication No. DS3976 Issue No. 2.1 October 1995.
71. DW9249. 112.32MHz SAW IF Filter. Mitel Corporation 1998 Publication No. DS3811 Issue No. 3.4 October 1995.
72. DW9268. 240.192MHz IF SAW Filter. Mitel Corporation 1998 Publication No. DS4025 Issue No. 1.4 October 1995.

73. DW9282. 110.592MHz SAW IF Filter. Mitel Corporation 1998 Publication No. DS4323 Issue No. 1.1 November 1995.

74. Wireless Local Loop Brings Telecommunications Capability To Remote Areas. Communications Direct, 1997, v. 3, N1, p. 3—7.

75. corDECT Wireless Local Loop SYSTEM, Analog Devices.

76. The Wireless Revolution — Its Effect on Test Equipment Design. Wavetek Application Note.

77. Test Set for DECT Protocols: New Simulation Software. Wavetek Application Note.

78. CPM-10: A Convenient, Cost-Effective Monitor for DECT Systems.

79. AMS-980TE: Functional Test System for Production of DECT Telephones.

80. AMS — Automatic Measuring System for Telecoms Terminal Equipment .

81. 4032 DECT Autorun Program for Service and Production. Wavetek Application Note.

82. STABILOCK 4032 DECT. Wavetek Application Note.

83. Software SME-K2 Generating communication signals with Signal Generator SME. Rohde & Schwarz Application Note.

84. Digital Radio Testers CTS50, CTS55, CTS65 for mobile phones. Rohde & Schwarz Application Note.

85. Robert Obertreis, NTP and ACP Measurements to ETS 300 175-2 for DECT using Spectrum Analyzer FSE. Rohde & Schwarz Application Note 1EF42\_0E.

86. Albert Winter, Werner Klotzsche. BER Measurements on DECT Receivers under Conditions of Fading. Rohde & Schwarz Application Note 1MA03\_1E.



87. Бакланов И.Г., Батулин Г.И. Современные анализаторы спектра. Вестник связи. 5, 1999, с. 53—55.

88. I-ETS 300 176: «Radio Equipment and Systems (RES); Digital European Cordless Telecommunications (DECT); Approval test specification».

89. Markus Zimmermann. Test Support for Public DECT Applications. Материалы сайта [www.dectweb.com](http://www.dectweb.com).

90. DECT Protocol Tester TS1220. Type testing of DECT fixed and portable parts to TBR22. Rohde & Schwarz Application Note.

91. Gloger, M.; Riedel, P. DECT Protocol Tester TS1220 — Type-approval measurements on DECT fixed parts (FP) and portable parts (PP) to TBR 22. News from Rohde & Schwarz (1995) No. 148, pp 9 — 11.

92. Jauch, H.; Riedel, P. DECT Signalling Test Unit PTW15 — Support in installation and maintenance of DECT networks. News from Rohde & Schwarz (1997) No. 155, pp 4 — 5.

93. Willam, D. DECT Protocol Testers TS1220 and PTW15 — Coverage measurements in DECT networks. News from Rohde & Schwarz (1997) No. 162, pp. 4 — 5.

94. Новое поколение DECT. Russian Mobile. N6, 2000, с. 38—39.

95. Yvan Droinet. Advanced RF Technologies for the Wireless Market (NZIF architecture) Microwave Journal, Sept 2001.

96. J. Crols and M. Steyaert. Low-IF Topologies for High-Performance Analog Front Ends of Fully Integrated Receivers. IEEE Trans. Circuits and Systems-II, vol. 44, no. 6, 1998.

97. B. Razavi. Challenges in Portable RF Transceiver Design, IEEE Circuits and Devices Magazine, vol. 12, pp. 12—25, Sept. 1996.

98. A. K. Ong, B.A. Wooley. A Two-Path Band-pass Sigma-Delta Modulator for Digital IF Extraction at 20 MHz. IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 32, no. 12, 1997.

99. L. Daniel, M. Sabatini. BandPass Sigma-Delta Modulator for wideband IF signals. May 20, 1999.
100. CMOS 200 MHz Quadrature Digital Upconverter AD9856. Analog Devices, Inc., 1999.
101. Jesal L. Mehta. Transceiver architectures for wireless Ics. RF Design, Feb 1, 2001.
102. Reduced Filter Requirements Using an Ultra Low Noise Modulator RF Micro Devices. Microwave Journal, January 2001, pp. 200—214.
103. B. Razavi. Design Considerations for Direct-Conversion Receivers, IEEE Transactions on Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Processing, vol. 44, no. 6, 1997.
104. Rodger H. Hosking. Digital Receiver Handbook. Theory of Operation Applications Products. Pentek, Inc.
105. Muriel Gombaud. Image rejecting front ends. Philips Semiconductors Application Note AN96106.
106. MAX2720/MAX2721. 1.7GHz to 2.5GHz, Direct I/Q Modulator with VGA and PA Driver. Maxim Integrated Products Data Sheet.
107. ETSI TS 101 948: Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); DECT derivative for implementation in the 2,45 GHz ISM Band (DECT-ISM)
108. ETSI EN 300 328: «Electromagnetic compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM); Wideband Transmission systems; data transmission equipment operating in the 2,4 GHz ISM band and using spread spectrum modulation techniques».
109. FCC part 15: «Federal Communications Commission Part 15 Radio Frequency Devices». Updated February 28, 2001.
110. RCR STD-33A: «Association of Radio Industries and Businesses, ARIB; Approval standard for ISM devices».

111. Маковеева М.М., Шинаков Ю.М. Системы связи с подвижными объектами. -- М.: Радио и связь, 2002.
112. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра: Пер. с англ. / Под ред. В.И. Журавлева. — М.: Радио и связь. 2000. 520 с.
113. Vector Modulation Measurements, Agilent Application Note 343-4, literature number 5952- 3703.
114. Measuring Bit Error Rate using the Agilent ESG-D Series RF Signal Generators Option UN7, literature number 5966-4098E.
115. Using Vector Modulation Analysis in the Integration, Troubleshooting, and Design of Digital RF Communications Systems, Agilent Product Note 89400-8, literature number 5091- 8687E.
116. Ten Steps to a Perfect Digital Demodulation Measurement, Agilent Product Note 89400-14A, literature number 5966-0444E.
117. Testing and Troubleshooting Digital RF Communications Transmitter Designs, Agilent Application Note 1313, literature number 5968-3578E.
118. J.K. Cavers, M. W. Liao, Adaptive Compensation for Imbalance and Offset Losses in Direct Conversion Transceivers, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 42, p. 581—588, November 1993.
119. Digital Modulation in Communications Systems—An Introduction, Agilent Application Note 1298, literature number 5965-7160E.

# Содержание

<b>Введение</b> . . . . .	
<b>1. Обзор технологии DECT.</b> . . . . .	
Основные принципы функционирования DECT систем	
Обобщенная архитектура системы DECT . . . . .	
Основные принципы организации радиосвязи . . . . .	
Радиоканалы . . . . .	
Дуплексирование . . . . .	
Методы множественного доступа . . . . .	
Радиоинтерфейс DECT . . . . .	
Структуры систем . . . . .	
Непрерывная передача сигнала . . . . .	
Динамический выбор и выделение канала . . . . .	
Установление связи в системе DECT. . . . .	
Присоединение портативного устройства к системе .	
Хендовер, роуминг . . . . .	
Подвижность абонента в системе . . . . .	
Разнесенный прием . . . . .	
Защищенность и безопасность в системе . . . . .	
<b>2. Типы систем DECT и приложений</b> . . . . .	
Области применения и рынки . . . . .	
Домашние системы . . . . .	
Бизнес-системы . . . . .	
Системы абонентского радиодоступа . . . . .	
Микросотовые системы общего доступа . . . . .	
Многомодовые беспроводные и сотовые системы . .	
Режимы прямой связи . . . . .	

---

<b>3. Стандартизация DECT . . . . .</b>	<b>47</b>
Процесс разработки документальной базы DECT . . . . .	47
Стандарт DECT ETS 300 175 . . . . .	49
Часть 1: Обзор (Overview) . . . . .	50
Часть 2: Физический уровень PHL (Physical Layer) . . . . .	50
Часть 3: Уровень управления доступом к среде MAC . . . . .	50
Часть 4: Уровень управления передачей данных (DLC) . . . . .	50
Часть 5: Сетевой уровень (NWK) . . . . .	51
Часть 6: Идентификация и адресация . . . . .	51
Часть 7: Параметры безопасности . . . . .	51
Часть 8: Кодирование и передача речи . . . . .	52
Часть 9: Профиль общего доступа (GAP) . . . . .	52
Профили приложений DECT . . . . .	52
Общий профиль доступа GAP . . . . .	53
Профиль сопряжения DECT/GSM GIP . . . . .	54
Профили сопряжения с сетями ISDN IAP и IIP . . . . .	54
Профиль фиксированного радиодоступа RAP . . . . .	55
CAP — профиль доступа в СТМ . . . . .	55
Перспективы развития стандарта . . . . .	56
<b>4. Общий интерфейс CI DECT . . . . .</b>	<b>57</b>
Структура физического канала . . . . .	57
Температурные режимы . . . . .	57
Организация РЧ каналов . . . . .	58
Номинальное положение РЧ несущих частот . . . . .	58
Точность и стабильность несущих РЧ частот . . . . .	58
Точность и стабильность опорного тактового генератора (таймера) . . . . .	59
Структура кадра, полного слота, двойного слота и полуслота . . . . .	59
Физические пакеты . . . . .	61

---

Физические каналы . . . . .	
Радиопередача физических пакетов . . . . .	
Схема модуляции . . . . .	
Нежелательное излучение мощности . . . . .	
Прием физических пакетов . . . . .	
Использование технологии DECT в ISM диапазоне 2,4 ГГц . . . . .	
<b>5. Архитектура протокола . . . . .</b>	
Физический уровень PHL . . . . .	
MAC уровень . . . . .	
DLC уровень . . . . .	
Сетевой уровень NWK . . . . .	
Объект управления нижнего уровня LLME . . . . .	
Блоки межсетевого взаимодействия IWU . . . . .	
<b>6. Принципы синхронизации в системе DECT . . .</b>	
Временная синхронизация . . . . .	
Синхронизация базовых станций системы . . . . .	
Временная синхронизация абонентских терминалов . .	
Пакетная синхронизация . . . . .	
Межсистемная синхронизация . . . . .	
РЧ синхронизация в системах подвижной связи . . . . .	
Точность и стабильность несущих РЧ частот в системе DECT . . . . .	
Формирование РЧ несущих в устройствах DECT . . . .	
Синхронизация в системе DECT. . . . .	
Временная синхронизация в системе DECT . . . . .	
Состояния портативной части PP системы DECT . . . .	
Состояния стационарной радиочасти RFP системы DECT . . . . .	
Последовательность просмотра приемника . . . . .	

---

Точность и стабильность опорного тактового генератора . . . . .	89
Джитгер передачи стационарной радиочасти RFP . . . . .	90
Синхронизация опорного тактового генератора носимой части PP. . . . .	90
Синхронизация системы . . . . .	91
Межсистемная синхронизация . . . . .	92
Поле синхронизации S. . . . .	92
Синхронизация с помощью системы GPS . . . . .	92
<b>7. Защищенность и безопасность в системе DECT . . . . .</b>	<b>94</b>
Идентификация в DECT . . . . .	94
Параметры защищенности . . . . .	96
Функции защищенности . . . . .	98
Аутентификация портативной части PT. . . . .	99
Конфиденциальность данных. . . . .	101
<b>8. Архитектура приемопередатчиков мобильной связи . . . . .</b>	<b>102</b>
РЧ блок приемопередатчика . . . . .	102
Архитектура, частотный и энергетический планы РЧ блоков . . . . .	106
Квадратурная обработка сигнала. . . . .	110
Формирование опорных сигналов квадратурных каналов . . . . .	111
Смесители с подавлением зеркального канала . . . . .	112
Архитектура тракта приема . . . . .	115
Супергетеродинные приемники . . . . .	115
Тракт приема с двойным преобразованием частоты . . . . .	116
Тракт приема с одним преобразованием частоты. . . . .	119
Приемники с прямым преобразованием . . . . .	120
Приемники с низкой ПЧ . . . . .	126

Широкополосные приемники с двойным преобразованием частоты . . . . .	
Приемник с субдискретизацией (подвыборками) . . . . .	
Приемники с цифровой ПЧ . . . . .	
Архитектура тракта передачи . . . . .	
Квадратурные модуляторы . . . . .	
Передатчики с прямой модуляцией. . . . .	
Архитектура тракта передачи с прямой квадратурной модуляцией. . . . .	
Проблемы использования архитектуры с прямой модуляцией. . . . .	
Прямая модуляция со сдвигом частоты ГУН . . . . .	
Прямая модуляция с удвоением частоты . . . . .	
Передатчики с непрямой модуляцией. . . . .	
Передатчики с петлей трансляции и преобразованием сигнала вверх по частоте . . . . .	
Передатчик с прямой модуляцией ГУН на основе петли ФАПЧ . . . . .	
Передатчик с квадратурным модулятором внутри петли обратной связи . . . . .	
Передатчик на основе ФАПЧ с модуляцией опорного сигнала . . . . .	
Использование дробного коэффициента деления . . . . .	
Использование цифровой ПЧ . . . . .	
Типовая структура современного РЧ блока . . . . .	
Пассивные элементы РЧ блоков . . . . .	
Полосовые и ПЧ фильтры. . . . .	
Частотный план современных РЧ блоков . . . . .	
Системный опорный сигнал . . . . .	
<b>9. Схемотехника устройств DECT . . . . .</b>	
Взаимодействие РЧ и информационных блоков устройств ССПО. . . . .	



Усилители мощности РЧ блоков DECT . . . . .	160
Параметры усилителей мощности РЧблоков ССПО. . .	160
Коэффициент полезного действия УМ . . . . .	160
Метод управления УМ с помощью замкнутой петли обратной связи. . . . .	162
Метод изменения величины напряжения питания УМ .	163
Схемотехника усилителей мощности . . . . .	164
Управление потребляемой мощностью в РЧ блоках. . . .	166
Модуляция в РЧ блоках . . . . .	167
Предмодуляционный фильтр . . . . .	167
Квадратурные модуляторы в РЧ блоках ССПО . . . .	170
Оценка качества модуляции . . . . .	173
Глазковые диаграммы . . . . .	173
Решетчатые диаграммы . . . . .	174
Диаграммы сигнальных созвездий . . . . .	175
Влияние полосы предмодуляционного фильтра . . . .	176
Влияние неидеальности квадратурных каналов I/Q . . .	177
Влияние качества сигнала синтезатора частоты . . . .	178
Тракт синтеза частот устройств DECT . . . . .	179
Основные сведения о синтезаторах частоты . . . . .	179
Синтезаторы частот, выполненные по методу активного синтеза . . . . .	181
Быстродействие синтезаторов частоты . . . . .	183
Влияние шумов опорных сигналов на качество работы устройств СПРВ . . . . .	186
Разновидности СЧ, используемые в устройствах мобильной связи. . . . .	188
Генераторы, управляемые напряжением . . . . .	190
Особенности использования ГУН в устройствах ССПО . . . . .	190
Основные характеристики ГУН . . . . .	191
Информационный тракт устройств DECT . . . . .	194

---

<b>Аббревиатуры.</b>	.....
<b>Определения</b>	.....
<b>Нормативные документы DECT</b>	.....
Базовый интерфейс CI (Common Interface)	.....
Тестовые спецификации CI (CI Test Case Library).	.....
Приемочные испытания (Approval Testing).	.....
Профиль GAP (Generic Access Profile & GAP Test Specification).	.....
Передача данных (Data Services Profile)	.....
Сопряжение DECT-GSM (DECT/GSM Interworking)	.....
Сопряжение с сетями ISDN (ISDN Interworking)	.....
Сети общего доступа CTM (Cordless Terminal Mobility & CTM Access profile CAP)	.....
Релейные станции WRS и Radio in the Local Loop RLL	.....
Использование DECT на других частотах	.....
Модули аутентификации DAM (DECT Authentication Module)	.....
Общие технические требования TBR (Technical Basis for Regulation)	.....
Неопубликованные документы ETSI	.....
<b>Литература</b>	.....

## Уважаемый читатель!

Перед Вами **16** номер каталога книг издательств "СОЛОН-ПРЕСС" и "ДМК-ПРЕСС", предлагаемых к рассылке по почте.

**Срок действия каталога – до 15 апреля 2003 года!**

**Цены, предыдущих каталогов более недействительны, заказы по ним выполняться не будут.**

**Мы высылаем книги только по территории России наложенным платежом! К сожалению, отдельные схемы, альбомы схем и радиоэлементы мы не высылаем!**

### ВНИМАНИЕ!

Вы можете в любое время получить свежий объединенный каталог по Интернету, послав пустое письмо на робот-автоответчик по адресу [KATALOG@SOLON-R.RU](mailto:KATALOG@SOLON-R.RU), а также подписаться на рассылку новостей о новых книгах издательств, послав письмо по адресу [NEWS@SOLON-R.RU](mailto:NEWS@SOLON-R.RU) с текстом "SUBSCRIBE" (без кавычек) в теле письма.

Если у вас нет доступа к Интернету, вы получите следующий бесплатный каталог нашего издательства по почте.

Наш адрес: **123242, Москва, а/я 20.**

**Для оформления заказа необходимо:**

- 1) Указать номер данного каталога – **16**, номера книг по каталогу и количество экземпляров;
- 2) Написать полный адрес, по которому выслать книги. Просьба обязательно указывать индекс и Фамилию, **И. О.** получателя!  
Желательно указать также телефон, по которому с вами можно связаться, и адрес электронной почты (E-mail) (при наличии).

**Внимание!** Убедительная просьба все данные писать разборчиво и аккуратно! Большая просьба при перемене адреса или индекса сообщать об этом при очередном заказе.

**Пример:** Каталог 16. Книги: 2 — 1 экз., 5 — 2 экз., 12 — 4 экз.

Адрес: 123456, Тверь, ул. Свободы, д. 4, корп. 2, кв. 5. Иванову Ивану Ивановичу.

Тел.: 1-11-11. E-mail: [ivanov@ivan.msk.ru](mailto:ivanov@ivan.msk.ru). 27.08.02 г.

**Передать нам Ваш заказ Вы можете следующими способами:**

- 1) выслать почтовую открытку или письмо по адресу: **123242, Москва, а/я 20;**
- 2) передать по электронной почте (e-mail) по адресу: [magazin@solon-r.ru](mailto:magazin@solon-r.ru)

Возврат книг в случае брака или ошибки производить по обратному адресу, указанному на бандероли .

Отдел "Книга-почтой" издательств "СОЛОН-ПРЕСС" и "ДМК-ПРЕСС".  
123242, Москва, а/я 20. E-mail: [magazin@solon-r.ru](mailto:magazin@solon-r.ru)  
Тел. для справок (095) 254-44-10