



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное
автономное образовательное
учреждение высшего
профессионального образования**
**«Южный федеральный университет»
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**
в г. Таганроге



**Г.Г. Галустов
В.С. Плаксиенко
Н.Е. Плаксиенко**

УСТРОЙСТВА ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Часть 6

Таганрог 2011

УДК 621.391.262(075.8)+621.391.24(075.8)

Галустов Г.Г., Плаксиенко В.С., Плаксиенко Н.Е.

Под ред. В.С. Плаксиенко

Устройства приема и обработки сигналов: Учебное пособие.

Ч.6. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. – 64 с.

Учебное пособие написано на основе прочитанных курсов лекций для студентов и магистрантов радиотехнических специальностей ТТИ ЮФУ и содержит материалы по теоретическим и практическим вопросам разработки и анализа узлов радиоприемных устройств. Приведены структурные и функциональные схемы приемно-усилительной аппаратуры, основные параметры, характеризующие приемные устройства в целом и их узлы.

В шестой части пособия рассмотрены вопросы построения современных радиовещательных систем передачи данных типа RDS и DARS. Приводятся особенности построения супергетеродинных устройств приема и обработки дискретных, манипулированных по амплитуде, частоте и фазе сигналов.

Предназначено для студентов радиотехнического факультета всех форм обучения, изучающих курсы ”Устройства приема и обработки сигналов”, ”Радиоприемные устройства”, ”Методы и устройства приема и обработки сигналов”.

Может быть использовано лицами, самостоятельно изучающими приемно-усилительную технику.

Табл. 5. Ил. 33. Библиогр.:16 назв.

Рецензенты:

– д-р техн. наук, профессор Марчук В.И.

– канд. техн. наук, доцент Лобач В.Т.

Введение

Настоящее учебное пособие является продолжением изданных ранее в ТРТУ (ныне ТТИ ЮФУ) первых пяти частей пособия с аналогичным названием.

В настоящей работе рассматриваются вопросы построения современных радиовещательных систем передачи данных типа RDS и DARS. Приводятся особенности построения супергетеродинных устройств приема и обработки дискретных, манипулированных по амплитуде, частоте и фазе сигналов.

В соответствии с современным развитием цифровых систем передачи и приема сигналов значительное внимание уделено построению и методике анализа устройств приема дискретных сигналов.

Пособие предназначено для студентов старших курсов, обучающихся по направлениям Радиотехника и Телекоммуникации, будет полезно магистрантам и аспирантам соответствующих специальностей, а также лицам, самостоятельно изучающим приемно-усилительную технику.

1. Системы радиовещания данных

1.1. История развития

В МВ-ЧМ радиовещании плотность радиовещательных станций, особенно в последние годы, увеличилась до такой степени, что слушателям, использующим портативные или автомобильные приемники, становится все труднее и труднее настраиваться на определенную программу. Однако имеется возможность к существующим программам, не ухудшая условий для их прослушивания, добавлять неслышимые радиосигналы данных для опознавания программ и автоматической настройки на них (с перечнем альтернативных частот). Регулярная передача сообщений о дорожной обстановке сетью FM-радиостанций – это как раз то, что нужно, ведь слушают радиоприёмник во время поездки почти все. Но хорошо бы ещё и предупредить слушателя, что именно эта радиостанция сейчас передаёт так необходимую ему информацию. И осуществить это желательно специальным управляющим сигналом, особенно если в данный момент он слушает не радио, а магнитофонную запись или компакт-диск. Кроме того может быть реализован це-

льный ряд других сервисных функций и передача разнообразной справочной информации в форме радиотекста.

С конца 1970-х годов начала материализовываться идея о необходимости помощи водителям в сложных дорожных ситуациях. Эта система была разработана в Германии в начале 90-х годов и, фактически, является развитием первой системы информационной радиослужбы для водителей – ARI (нем. Autofahrer Rundfunk Information). Первые системы ARI появились в Германии в начале 1980-х, а с 1986 года в странах Западной Европы началась экспериментальная эксплуатация этой системы.

В начале 1990-х Европейский союз радиовещания (European Broadcasting Union – EBU) принял рекомендацию о использовании системы передачи данных RDS (Рекомендация 643-1 МККР, 1990) радиовещательными станциями, работающими в диапазоне FM (65-108 МГц). Стандарт впервые опубликован CENELEC в 1990 г. как EN 50067[1]. Дважды пересматривался CENELEC в 1992 и 1998 гг. В 1999 г. стандарт RDS IEC 62106 был принят членами Европейского радиовещательного союза (EBU) в качестве единого многоцелевого стандарта.

Система RDS предназначена для применения в системе стереофонического радиовещания с пилот-тоном. Радиоданные передаются в цифровой форме. Дополнительные радиовещательные службы позволяют распространять в составе радиовещательного сигнала дополнительную информацию, связанную или не связанную с содержанием вещаемой радиопрограммы.

Система предусматривала предоставление слушателям целого ряда новых услуг:

- возможность оперативного получения информации водителем о заторах и пробках на крупных автодорогах, возможных путях объезда, метеословиях и т. д.;
- передачу информации о принимаемой станции (название, характер вещания);
- синхронизация часов радиоприёмника автомобиля с эталонными на радиостанции.

Радиоприёмник должен реагировать на управляющие сигналы автоматически, чтобы не отвлекать водителя от управления машиной. Рекомендация предполагает дальнейшее развитие системы, и поэтому содержит ещё несколько вариантов использования этого канала пере-

дачи данных, которые разделяются на основные, дополнительные и вспомогательные.

Отличительной особенностью данного стандарта является использование его при передаче в сетях радиовещания и телевидения (радиовывозов на поднесущей частоте вещательного диапазона). Дополнительная информация передается с использованием поднесущих и размещается в спектре радиовещательного сигнала таким образом, чтобы не оказывать влияния на качество основного вещательного сигнала и на сигналы соседних каналов других радиостанций.

Сам принцип совмещения канала передачи данных в системе RDS аналогичен используемому при передаче телетекста. Только вместо временного разделения (передача телетекста происходит вместе с синхронизирующими строчными импульсами в начале каждого кадра) в радиовещании используется частотное: для передачи данных выделена узкая полоса вокруг поднесущей 57 кГц. Поскольку эта полоса расположена выше передаваемого стереофонического сигнала, помех обычному радиовещанию не создаётся. Однако это относится только к системе стереофонического радиовещания с пилот-тоном (CCIR), а потому простой перенос системы в диапазон УКВ (OIRT) просто физически невозможен.

Широкое распространение систем вещания дополнительной информации по всему миру началось после принятия ряда международных стандартов на эти системы (Рекомендации МСЭ-Р 643-2, ECU R33-1985, EC50067).

RDS применяется в Европе, США (~50 % радиостанций), ЮАР (до 70 %). Начато развёртывание сетей RDS в Австралии, Южной Корее и Китае.

В Японии применяется немного другая система радиоданных, разработанная японцами специально для внутреннего применения. Дело в том, что в RDS не удастся применить какой-либо другой алфавит, кроме латинского.

В США стандарты IEC не действуют. Там RDS существует в виде несколько изменённого варианта, называемого RBDS и адаптированного для удовлетворения конкретных потребностей североамериканских FM-радиостанций. Стандарт RBDS имеет официальное название NRSC-4-A и находится в ведении Национального комитета по радиосистемам США (англ.).

Первоначально систему RDS предполагалось использовать для передачи дополнительной служебной информации через радиовещательные сети УКВ-диапазона (передача текстовой информации об обстановке на автодорогах, о курсах валют и т.д.). Затем эту систему стали использовать для построения пейджинговых систем. При этом не надо разворачивать дополнительные радиопередающие станции, так как используются уже существующие радиовещательные передатчики УКВ-диапазона. Пейджеры RDS принимают и обрабатывают только сигналы RDS, комплексный стереосигнал в них не обрабатывается.

1.2. Система передачи данных RDS

Стремление к более эффективному использованию существующих систем связи привело к тому, что многие радиостанции через имеющиеся сети вещательных радиопередатчиков параллельно с основной звуковой программой передают и дополнительную, в виде цифровых кодов. Такая дополнительная информация не слышна обычному абоненту, не мешает работе обычных приемников, и принимать ее можно только при наличии в приемниках специальных функциональных узлов. Приемник, оснащенный RDS, принимает эти сигналы и выводит их на дисплей как текстовую информацию. Кроме того, слушателю предлагается набор сервисных функций. Естественно, в сопроводительных документах к "car audio" объясняется, как их задействовать.

Наибольшее распространение в настоящее время в Западной Европе, США, Японии получила система УКВ-ЧМ стереовещания с пилот-тоном, которая во второй половине 80-х годов была дополнена системой передачи данных RDS (Radio Data System). Система RDS является технической основой для организации дополнительной радиовещательной службы, предназначенной для автоматической настройки приемников и дистанционного управления оборудованием, а также для распространения дополнительной информации, связанной или не связанной с содержанием основной программы.

Эта система распространения дополнительной информации в составе сигнала УКВ-ЧМ радиовещательного сигнала принята в странах Европы в соответствии с нормами Европейского союза вещания (ECB) (Рекомендация R33-1985. Технический документ: Tech. 3244.

1984 г.) и Европейского стандарта CENELEC (EN50067). Вещание осуществляется с пилот-тоном в диапазоне частот 87,5-108 МГц.

Небольшой радиус действия вещательных УКВ-ЧМ передатчиков позволяет создавать локальные региональные зоны обслуживания. Системы передачи данных, использующие стандарт RDS (Radio Data System), являются в настоящее время наиболее распространенными.

Система предусматривает предоставление слушателям ряда новых услуг. Во-первых – возможность оперативного получения информации водителем о заторах и пробках на крупных автомобильных дорогах, возможных путях объезда, метеоусловиях и т.д. Во-вторых – передачу названия принимаемой станции и информации о характере вещания. Радиоприемник должен реагировать на сопровождающие эти сообщения управляющие сигналы автоматически, чтобы не отвлекать водителя от управления автомобилем. Предполагается дальнейшее развитие системы и еще несколько вариантов использования канала передачи данных, которые разделяются на основные, дополнительные и вспомогательные.

Основными видами дополнительной информации являются:

- информация для водителей автотранспорта (Autofar Rundfunk Information – ARI, VRS), называемая в литературе дорожной информацией;

- сигналы времени;

- вспомогательная информация для настройки приемных устройств;

- сигналы автоматического управления радиоприемником;

- сигналы времени (СТ);

- сигналы персонального радиовызова;

- радиотекст (RT) – информация в текстовой форме для представления на дисплее, например, название музыкального произведения, имя исполнителя, изменения в программе и т.п.

Это позволяет облегчить пользователю работу с приемником, так как он может видеть на экране дисплея информацию о принимаемой программе и радиостанции, например, ее название. Кроме того, с использованием дополнительной информации можно реализовать различные режимы функционирования приемника. Например, приемник может просканировать весь диапазон, останавливаясь на заданное время только на тех станциях, которые передают в данный момент новостные программы.

В настоящее время в системе RDS предусмотрена возможность реализации большого количества функций, однако, как правило, в RDS-радиоприёмниках используются только пять основных так называемых базисных функций.

Основным функциональным режимом системы RDS является PI (Program Identification). В этом режиме радиоприемник принимает информацию о том, что радиостанция использует систему RDS. PI (Programme Identification) – идентификация программ, т.е. отображение на табло приёмника названия принимаемой программы (радиостанции) и номинал её рабочей частоты. Код идентификации программ PI (Programm Identification Code) – индивидуальный для каждой станции четырехзначный восьмерично-десятичный код. Он вычисляется из букв позывных станции и не может быть повторен дважды. Приемник использует PI-код для идентификации станции. RDS-приемник учитывает множество частот в эфире таким образом, что может автоматически настраиваться на более мощную станцию.

Далее следует режим PS (Programme Service name) – служебное название программы, т.е. информирует о названии программ, передаваемых радиостанцией. Вместо названия может идти некоторая информация, разбитая на слова или фразы по 8 символов.

Код PS содержит имя (наименование) или символ радиостанции. Это имя отображается на дисплее RDS-приемника, когда приемник настроен на данную радиостанцию. PS-имя не может содержать более восьми символов. При приеме кода PS (Program Service) "служебное название программы", который содержит текст максимум из десяти знаков (букв или цифр), на дисплее формируется название радиостанции или заменяющая его аббревиатура.

Режим AF(Alternative Frequencies) – список альтернативных частот, т.е. "AF" покажет весь список RDS-станций, передающих аналогичные по содержанию программы. В этом режиме в радиоприёмник поступает информация обо всех частотах, на которых транслируются эти программы, кроме принимаемой. В случае ослабления сигнала (если автомобиль покидает зону приема) приёмник автоматически в доли секунды должен переключиться на одну из альтернативных частот, и останется на ней, если уровень сигнала там окажется выше. Таким образом, код альтернативной частоты при многочастотном радиовещании позволяет RDS-приемнику настроиться на лучшую по

слышимости частоту данной радиостанции. Поиск наилучшей частоты производится при включенном режиме идентификации программ (PI).

Код "идентификация программ" (PI) позволяет приемнику распознавать страну или область, в которой ведется радиовещание и самостоятельно идентифицировать программу. Этот код обычно не отображается на индикаторе, а используется совместно со следующим кодом – AF (Alternative Frequences) "альтернативные частоты", с помощью которого головное устройство автоматически переключается на наиболее сильный сигнал принимаемой радиостанции. Список альтернативных частот, имеющих один и тот же код PI, запоминается в декодере RDS и позволяет автоматически выбрать ту частоту, на которой в данном районе обеспечивается наилучший прием.

Режимы "TA", "TP" нужны для приема служебной информации. При этом текущее звучание программы, кассеты или компакт-диска автоматически прерывается и возобновляется после сообщения, например, о заторах или чрезвычайных ситуациях на дороге. Если же "ваша" RDS-станция не передает в данный момент дорожных сообщений, тогда приемник сам выберет нужную станцию. Коды (TP/TA) "программа дорожных сообщений"/"сообщение о дорожном движении" связаны с передачей дорожной информации. Кодовое сообщение TP означает, что данная радиостанция регулярно передает сообщение о дорожном движении, а TA (Traffic Announcement), предусмотренная для переключения с воспроизведения кассеты или диска на прием радиостанции, передающей в данный момент информацию для водителей – обеспечивает автоматическое включение передаваемых сообщений об обстановке на трассе, даже при прослушивании магнитофонной кассеты или компакт-диска. Кроме того, коды TP/TA могут использоваться для автоматического поиска станций, передающих сообщения о дорожном движении.

Режим TP (Traffic Programme identification) - идентификация программ дорожных сообщений содержит информацию о порядке организации движения на трассе. Код TP (трафик программ) идентифицирует расписание программы (частоты, зону обслуживания и время вещания). Приемник может автоматически настраиваться на радиостанцию, которая предлагается в бюллетене расписаний, если пользователь включил режим объявления трафика программы (объявления расписания).

Режим ТА (Traffic Announcement), он же TI (Traffic Information) использован ещё в системе ARI. Код ТА – объявление трафика. Будучи активированным, он заставляет автомагнитола, музыкальный центр или усилитель, связанный с тюнером по системе LINK, переключаться с воспроизведения кассеты или компакт-диска на приём радиостанции, передающей в этот момент информацию для водителей (срочную информацию об изменениях обстановки на дороге). Когда передается действующее расписание, этот информационный бит устанавливается в состояние логической "1". RDS-приемник детектирует это сообщение и автоматически приостанавливает любое воспроизводящее устройство, которое могло быть включено в это время, и возвращается в режим ЧМ-настройки. Уровень громкости при этом увеличивается. По окончании специальной передачи магнитола возвращается в исходное состояние. Регулировки звука автоматически устанавливаются таким образом, чтобы, например, при выключенной громкости приемник автоматически установил бы предварительно установленную громкость.

Если несколько радиостанций объединены общей системой RDS, то приёмник будет временно переключаться на приём станции, передающей Traffic Announcement (режим EON). Также можно заставить приемник сканировать весь диапазон в поисках ТА.

Расширение возможностей системы RDS осуществляется за счет использования семи дополнительных кодов. Однако не все из них получили к настоящему времени такое же распространение как основные.

Коды типа программ (передач) PTY (Program Type Codes) используется для обозначения текущих программ (например, "Народная музыка", "Рок", "Хиты 40"). С помощью PTY-кода RDS-приемник может автоматически настроиться на радиостанцию, которая в настоящий момент передает выбранный слушателем тип программы. Ранее настроенный приемник может даже прервать прием передачи и переключиться на прием "Новостей", если вещание осуществляется с использованием часового PTY-режима. Код "PTY" помогает быстро найти и выбрать нужную программу, например: новости или определенный стиль музыки – классику, рок, джаз: на дисплее высвечиваются надписи "NEWS", "ROCK" и т.д.

Стандартом предусмотрено 16 основных типов программ, которые можно оперативно менять, в зависимости от содержания переда-

чи. Например, «Ностальжи» установила у себя идентификатор POP MUSIC, «Серебряный дождь» – LIGHT MUSIC, а «Престиж-радио» – OTHER MUSIC. В дорогих моделях радиоаппаратуры есть функция, заставляющая приемник просканировать весь диапазон (незаметно для слушателя) в поисках указанного идентификатора, и, если он обнаружен, переключиться на эту частоту. Поиск идентификаторов TA, NEWS или INFO можно сделать постоянным (режим EON), тогда приёмник, обнаружив появление одного из этих идентификаторов на какой-либо RDS-станции, переключится на её частоту.

Код EON (Enhanced Other Networks information) – "Расширение на другие сети". Взаимодействие с другими сетями обеспечивает автоматическое переключение приёмника на другой канал (возможно задание до 8 настроек), по которому передаётся служебная информация, например, о дорожной обстановке, не транслируемая принимаемой в данный момент радиостанцией.

Код PTYN (Program Type Name) – наименование типа программ. PTYN-код позволяет более гибко удовлетворить пристрастия слушателей. Если с помощью PTY-кода слушатель выбирает "Новости", то с помощью PTYN-кода он, воспользовавшись набором из восьми знаков, может выбрать среди новостийных сообщений "Эхомобил" или "Черкизов". Код PTY (Program Type) "идентификация типа программы", дает возможность выбрать радиостанцию по типу передаваемой программы (Clock Time, для установки точного времени и Radio Text, для вывода на экран бегущей строки). Для обозначения различных типов программ предусмотрено 32 кода, часть из которых определена: классическая музыка, джаз, поп, рок, новости, спорт, театр и т.д., а последние зарезервированы для передачи сигналов бедствия.

Для активации функции "Прерывание воспроизведения диска для прослушивания новостей" необходимо удерживать кнопку PTY/NEWS дольше двух секунд и выбрать тип программы NEWS. Система запомнит станцию FM, передающую новости, которая была выбрана последней. Воспроизведение компакт-диска прервется, как только эта радиостанция начнет передавать краткие новости. Вы можете независимо отрегулировать громкость передачи новостей. При изменении типа передаваемой информации, а также при невозможности приема радиостанции в течение 10 секунд из-за слабого сигнала, система автоматически возвращается в режим воспроизведения компакт-диска. Аудиосистема обеспечивает несколько видов прерываний,

в том числе при передаче дорожных сообщений (ТА). При этом высший приоритет имеет функция, которая была активирована первой. Чтобы активировать прерывание, вызываемое любой другой функцией, текущую активную функцию следует отключить.

Код ALARM (Тревога) – экстренные сообщения РТУ. Эта функция используется при передаче экстренных сообщений, таких как природные катаклизмы. При получении данного кода на дисплее появляется сообщение ALARM, и изменяется уровень громкости. По окончании передачи экстренного сообщения система возвращается к нормальному режиму работы.

Из других возможностей RDS можно отметить передачу текущего времени Clock Time с точностью до минуты и Radio Text – бегущую строку, как правило, повторяющегося содержания. Эти режимы считаются дополнительными и автоматически не включаются.

Кодовый сигнал СТ (Clock Time and date) "точное время и дата" – это код, по которому передаются сигналы для синхронизации имеющихся в приемнике цифровых часов, что позволяет отображать дату и время с автоматической коррекцией в зависимости от местоположения: по часовому поясу или летнему/зимнему времени. Информация о дате и точном местном времени передаются каждую минуту и позволяют точно настраивать часы слушателям. Дата и точное местное время определяются автоматически, так что автомобилист не испытывает неудобств, допустим при переезде из одного часового пояса в другой или при переходе с "летнего" времени на "зимнее". Это единственная из дополнительных функций, которая начала предоставляться одновременно с основными.

Код RT (Radiotext) радиотекст. Функция "Радиотекст" позволяет передавать радиослушателям 64-знаковые сообщения, содержащие: имя выступающего артиста, название песни, информацию для продвижения радиостанции, сообщение о местных событиях и даже информацию о том, кто прислал заявку на передачу того или иного произведения. В режиме передачи кода «RT» возможен прием текста длиной до 64 знаков, либо символов с выводом бегущей строкой на табло приёмника, либо озвучивания с помощью синтезатора речи. Содержание текста может оперативно меняться оператором или диктором радиостанции во время передачи.

Код PIN "номер элемента программы" передается в начале передачи с RDS, и затем в установленные моменты, запрограммирован-

ные в сетке вещания. Два следующих дополнительных кода DI и MS позволяют производить корректировку частотной характеристики радиоприемника.

Код DI (Decoder Identification and dynamic PTY indicator) – идентификация декодера и динамический PTY-индикатор. Код DI обозначает тип передаваемого сигнала (моно, стерео, стерео с компрессией) и может использоваться для автоматического переключения режима работы декодера. Код DI выбирает режим работы стереофонического декодера из нескольких возможных режимов, наилучшим образом отвечающего полному использованию сигналов передаваемой программы.

Код MS "музыка"/"речь" содержит команду, обеспечивающую необходимое автоматическое переключение тембра при смене характера передачи.

Код EWS (Emergency Warning System) система предупреждения чрезвычайных ситуаций, т.е. система аварийного оповещения. Код EWS позволяет передавать кодированную чрезвычайную информацию в критических ситуациях, предназначенную для специальных приемников. Федеральные службы связи призвали вещателей использовать RBDS для новой системы оповещения о чрезвычайных ситуациях (EAS – Emergency Alert Systems). Оборудование этой системы может быть подключено к RDS-кодеру для автоматической ретрансляции информации тревожного оповещения.

Код IH (In House application) – бытовое применение. Код IH относится к данным, которые нужно декодировать только оператором. Некоторые примеры представляют собой идентификацию источника передачи, с дистанционной коммутацией сетей и вызов персонала. Применение кодирования программ может решаться каждым оператором.

Код ODA (Open Data Applications) – открытые прикладные программы данных. Код ODA позволяет программы данных, заранее не определённые стандартом, передавать в числе названных групп при передаче сигнала RDS.

Код ODC (Open Data Channel) – открытый канал данных. Код ODC относится к последнему, наиболее гибкому дополнению стандарта RDS. Открытый канал данных позволяет распространять информацию тысяч различных видов как для общего пользования, так и для индивидуального применения.

Код TDC (Transparent Data Channels) – «Прозрачные» каналы данных, состоят из 32 каналов, которые могут использоваться для передачи любого типа данных. По этому каналу (с использованием этой группы данных) может быть передана информация любого вида для специализированных применений. Например, с использованием канала TDC на электронную доску объявлений может быть послано сообщение рекламодателя. Любое сообщение, которое используется для рынка данных (рекламы), может быть передано с помощью канала TDC. Обычный автомобильный или бытовой стационарный приемник не декодирует эту информацию.

Код (In-House Application) внутреннее ("домашнее") применение. Информация, содержащаяся в этой группе, может быть использована только вещателем. С помощью этой группы данных могут осуществляться дистанционное управление, телеметрия радиостанции или пейджинг.

Код RP (Radio Paging) радиопейджинг, т.е. передача буквенно-цифровых пейджинговых сообщений. Код RP реализует служба пейджинга. Это один из способов извлечения прибыли от RDS.

Код DGPS (Differential GPS correction data services) – услуга дифференциальной коррекции GPS данных. Код DGPS обеспечивает передачу в составе RDS-сигналов величин так называемых дифференциальных поправок для глобальной спутниковой навигационной системы GPS, позволяющих существенно повысить результирующую точность определения координат.

Код TMC (Traffic Message Channel) – канал сообщения расписаний программ и передач. Код TMC обеспечивает возможность предоставления информации о расписании программ и передач, которая кодируется и затем принимается бытовыми RDS-приемниками. При этом слушателю нет необходимости приобретать бюллетени с программой передач. Код TMC использует локальную информацию так, что бытовые приемники, например автомобильные, будут отображать информацию о расписании передач, доступных только для приема во время конкретного путешествия. Кодирование TMC осуществляется по отдельному стандарту CEN ENV 12313-1. Стандарт разрешает использование только символов латинского алфавита. Другие наборы символов могут быть реализованы в рамках функции ODA. Подходящие таблицы символов, соответствующие ISO/IEC 10646, включены в версию стандарта RDS 2009 г.

Широко внедряется возможность приема сигналов RDS и в стационарную аппаратуру. Сегодня все ресиверы, мини- и микросистемы, предназначенные для европейского рынка, оборудованы тюнерами с возможностью приема кодов RDS. Они, как правило, имеют стандартный обязательный набор из девяти функций, приведенный выше для автомагнитол. Функции приема сигнала по системе RDS имеет не только современная автомобильная и стационарная аппаратура, но и переносные радиоприемники и магнитолы.

В настоящее время RDS активно развивается. Сеть станций, передающих не только музыку и новости, но и сигналы RDS, появилась и у нас в стране. Однако в России, в отличие от Западной Европы, Северной Америки, ЮАР и Азии, системой RDS пока охвачены только крупные города, но в перспективе в ближайшие пять лет покрытие увеличится ориентировочно в два раза.

Области применения системы RDS:

- автоматическая настройка и коммутация в ЧМ-радиоприемниках;
- радиотекст;
- дистанционное управление оборудованием;
- радиопейджинг;
- вещание дорожной информации;
- навигация автотранспорта;
- предупреждение чрезвычайных ситуаций;
- дифференциальное радиоопределение на местности с применением GPS и др.

Принцип совмещения канала передачи данных аналогичен принципу, используемому при передаче телетекста, но вместо временного разделения в радиовещании используется частотное: для передачи данных выделена узкая полоса вокруг поднесущей 57 кГц. Поскольку эта полоса расположена выше передаваемого стереофонического сигнала, помех обычному радиовещанию не создается. Сигнал RDS на передающей стороне формируется на поднесущей 57 кГц (третья гармоника пилот-тона) путём балансной амплитудной модуляции (БАМ) этой поднесущей сигналом данных специальной формы, называемым сглаженным бифазным сигналом. Поднесущая 57 кГц в спектре сигнала RDS подавляется, а ширина спектра сигнала RDS составляет примерно 4,8 кГц.

На рис. 1.1 приведены спектр комплексного стереофонического сигнала S_{KC} с пилот-тоном 19 кГц и спектр сигнала RDS S_{RDS} .

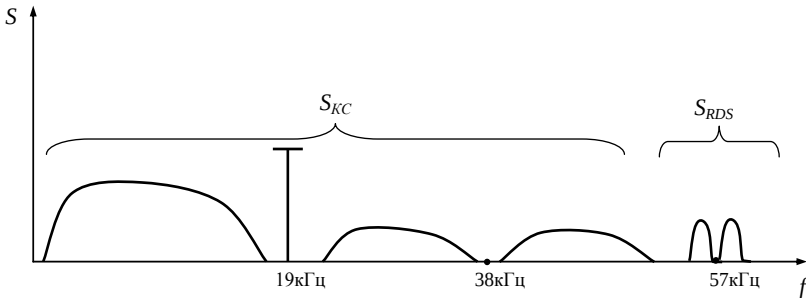


Рис. 1.1

Точное значение скорости передачи данных в системе RDS образуется делением на 48 частоты поднесущей сигнала RDS и составляет:

$$B = \frac{57000}{48} = 1187,5 \text{ бит/с}.$$

Для передачи информации используется специальная поднесущая частота 57 кГц – третья гармоника пилот-тона 19 кГц, что делает RDS несовместимой с полярной стереосистемой. Вне зоны уверенного приёма, если не светится индикатор "стерео", RDS работать не будет. Если сигнал слабый – информация может обновляться реже, частично пропадать. На частотно-модулированной поднесущей передается несколько потоков двоичной информации, каждый из которых соответствует определенному режиму.

Основные параметры стандарта RDS:

- частота поднесущей 57 кГц (3-я гармоника основной поднесущей пилот-тона 19 кГц);
- вид модуляции – фазовая манипуляция (PSK – phase shift keying);
- частота пилот-тона - 19 кГц $\pm$ 2 Гц;
- допустимое отклонение частоты поднесущей RDS - $\pm$ 6 Гц;
- номинальная девиация несущей RDS – $\pm$ 1,2 кГц;
- скорость передачи данных (битовая скорость) – $1187,5 \pm 0,125$ бит/с.

Сигналы RDS [3] передаются в составе КСС в системе с пилот-тоном путем фазовой модуляции поднесущей 57 кГц (рис. 1.1). Модулирующий сигнал представляет последовательность двоичных импульсов с частотой следования 1187,5 бит/с. Эта последовательность передается нерегулярно, по мере надобности, группами объемом по 104 бита. В группе передаются очередные 8 байт данных, являющиеся электронным отображением восьми буквенно-цифровых символов информации, и 40 бит, содержащих код защиты ее от искажений.

Также используют модуляцию поднесущей частоты по амплитуде предварительно профильтрованным бифазным кодированным сигналом данных, поднесущая частота подавляется.

В табл.1.1 приведены основные характеристики системы RDS:

Таблица 1.1

Параметр	Значение
Поднесущая частота для передачи сигналов радиоданных, кГц	57
Допустимое отклонение поднесущей частоты, Гц	± 6
Синхронизация поднесущей частоты	по фазе, относительно третьей гармоники пилот-тона
Скорость передачи данных, бит/с	1187,5
Структура кода: Самый крупный элемент – "группа" с общим числом битов, время передачи группы, мс	104 87
Состав группы: 4 блока каждый с числом битов	26
Структура блока: информационное слово, бит, контрольное слово, бит	16 10
Возможность обнаружения и исправления ошибок	имеется
Порядок передачи битов	во всех информационных, контрольных словах и адресах первым передается старший разряд

Окончание табл. 1.1

Параметр	Значение
Отклонение фазы поднесущей, град, не более	± 10
Девияция основной ЧМ-несущей, кГц сигналом модулированной поднесущей: рекомендуемое значение при одновременном использовании систем опознавания станций ARI и передачи радиоданных RDS	± 2 $\pm 1,2$
сигналом немодулированной поднесущей ARI	$\pm 3,5$
Предельные значения девиации частоты ЧМ несущей, кГц	(1,0...7,5)
Полоса частот радиоканала, кГц	4,8
Модуляция поднесущей частоты	амплитудная
Сигнал данных	двоичный код
Модулирующий сигнал	двухфазный кодовый сигнал данных
Поднесущая частота при модуляции подавляется, дБ, не менее	40
Синхронизация блоков и групп	имеется
Формат передаваемых сообщений	первые пять битов в каждом втором блоке группы выделены для пятибитового кода, определяющего назначение группы и ее варианта

Кодирование в основной полосе (транспортный уровень данных):

- формат кодирования – 16 групп (от 0 до 15) по 104 бита в каждой; группа состоит из 4 блоков по 26 бит; блок содержит информационное слово (16 бит) и проверочное слово (10 бит) (рис.1.2);

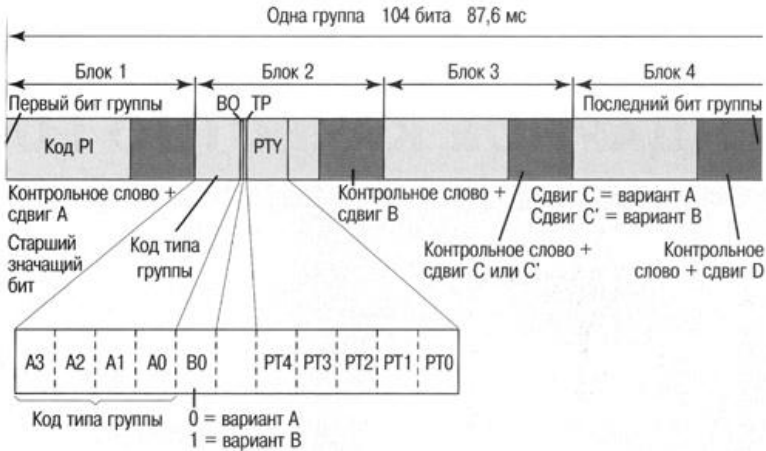


Рис. 1.2

– для каждой группы имеются две версии.

Каждая группа и версия поддерживают заданное применение.

Канал применений открытого канала (ODA) и расширенный протокол пейджинга (EPP), принятые в 1998 г. в расширение стандарта, повышают функциональность.

Группы применения RDS

В системе RDS образуется множество каналов, по которым может передаваться информация различного назначения. Конкретные назначения регламентированы группами применения. Часть информации используется для автоматического управления RDS-приемником, другая – для оказания слушателю дополнительных информационных услуг, третья – для оказания услуг не вещательного свойства.

Передаваемые данные, в зависимости от частоты их изменения, разделяются на статические и динамические. В зависимости от вида передаваемых данных для кодирования используют статический или динамический кодеры (табл.1.2).

Статический кодер. В основное время вещания статическим кодером поддерживаются только статические данные. Конфигурация кодера и информация для вещания запоминаются в ЭПЗУ (EPROM).

Динамический кодер. Конфигурация кодера, статические и динамические данные, предназначенные для вещания, посылаются в кодер в каждый необходимый интервал времени (через последова-

тельный порт персонального компьютера, по телефонной линии, наземному или спутниковому каналу связи).

Таблица 1.2

Группа	Наименование, назначение группы	Обозначение группы
Статические данные		
ОА и ОВ	Основная информация настройки и переключения	
	Идентификация программы	P1
	Наименование сервиса программы	PS
	Альтернативная частота	AF
	Трафик (расписание) программы	TF
	Трафик	-
	Объявления	TA
	Тип программы	PTY
	Идентификация декодера	D1
	Переключение речь/музыка	MS
Динамические данные		
1A	Номер передачи Медленные коды этикеток	PIN SLC
1B	Номер передачи программы	PIN
2A, 2B	Радиотекст	RT
3A	Идентификация применения для ODA	-
3B	Применение открытых данных	ODA
4A	Дата и время суток	CT
4B	Применение открытых данных	ODA
5A, 5B	«Прозрачный» канал данных Применение открытых данных	TDC ODA
6A, 6B	Внутреннее («домашнее») применение Применение открытых данных	IH ODA
7A	Применение открытых данных	ODA
8A	Канал сообщения трафика (расписания программ) Применение открытых данных	TMC ODA
9A	Системы предупреждения чрезвычайных ситуаций	EWS
10A	Наименование типа программы (передачи)	PTYN
10B	Применение открытых каналов	ODA
11A, 11B	Применение открытых каналов	ODA
12A, 12B	Применение открытых каналов	ODA
13A	Расширенный радиопейджинг Применение открытых каналов	EPP ODA
13B	Применение открытых каналов	ODA
14A, 14B	-	EON
15F	-	-
15B	Быстропереключаемая информация	(PI)

Связь с кодером основана на своем собственном протоколе или протоколе кодера универсальной конфигурации (Universal Encoder Configuration Protocol), определенном ECB (EBU).

Кодер осуществляет изменения применений при переходе от одной модели вещательного оборудования к другой.

На рис. 1.3 представлена структурная схема тракта передачи сигналов радиоданных системы RDS, передаваемых через сеть радиовещательных станций диапазона МВ–ЧМ.

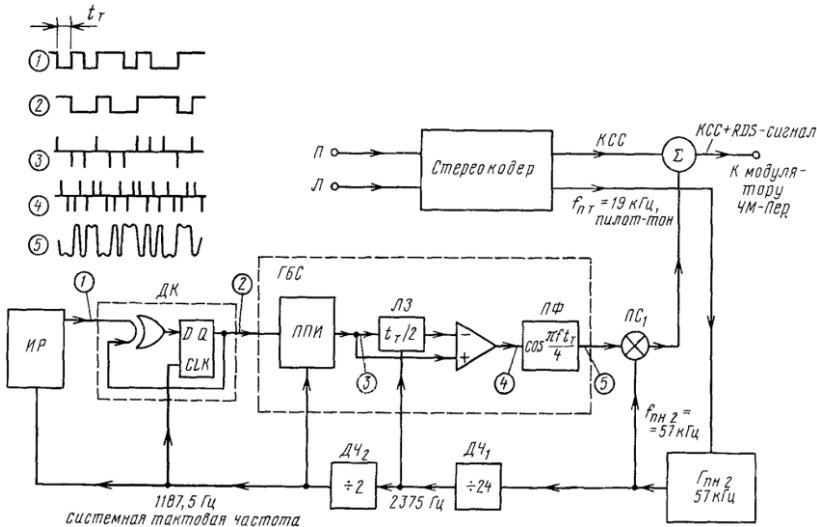


Рис. 1.3

Формирователь RDS-сигнала содержит:

ИР – источник радиоданных.

ДК – дифференциальный кодер.

ГБС – генератор бифазных символов.

ППИ – преобразователь полярности импульсов.

ЛЗ – линия задержки.

ПФ – полосовой фильтр.

ПС₁ – перемножитель сигналов (амплитудный модулятор).

Г_{ПН.2} – генератор поднесущей частоты.

ДЧ₁, ДЧ₂ – делители частоты.

Σ – сумматор.

В радиоприемном устройстве (рис.1.4) после ЧМ-демодулятора RDS-сигнал выделяется ПФ, затем восстанавливается поднесущая частота (ВП) $f_{ПН2}$ – 57 кГц и тактовая частота (ВТЧ) $F_{ТЧ} = 1187,5$ Гц.

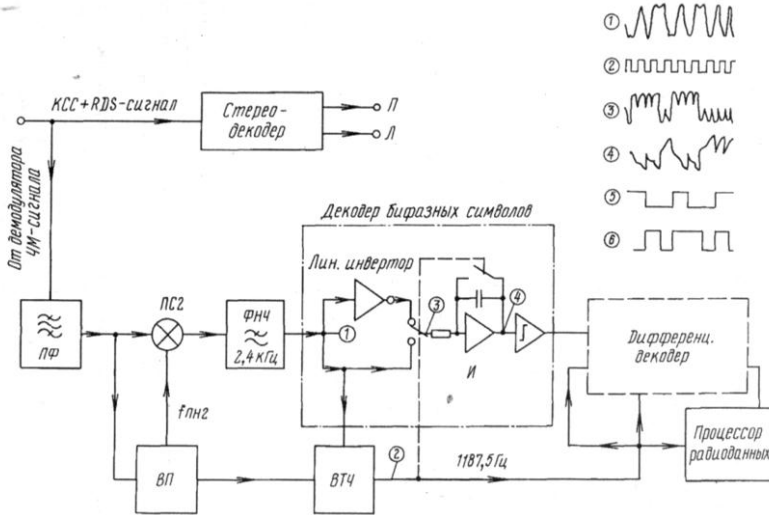


Рис. 1.4

Далее сигналы радиоданных проходят перемножитель сигналов (демодулятор) $ПС_2$, после чего декодируются и обрабатываются в процессоре радиоданных. Для большей наглядности происходящих в радиоприемном устройстве процессов на рис.1.4 приведены осциллограммы сигналов в основных точках структурной схемы.

Другой вариант построения приемника стереовещания с сигналами RDS показан на рис. 1.5.

Здесь используется схема с одним общим микроконтроллером для индикации и управления перестройкой по частоте. Такое решение позволяет отображать на одном дисплее частоту настройки и принимаемую цифровую информацию. В структурную схему входят 5 основных блоков:

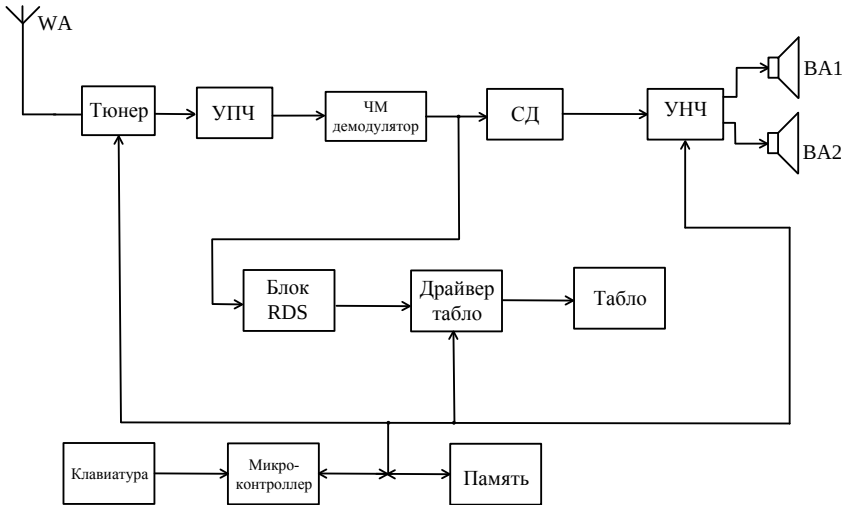


Рис. 1.5

1. Приемная часть (преселектор, ПЧ, УПЧ, ЧМ демодулятор).
2. Стереодекoder СД.
3. Блок RDS (демодулятор RDS, декодер RDS).
4. Блок управления и индикации (табло, драйвер табло, микро-контроллер, память, клавиатура).
5. УНЧ.

Приемная часть является общей для этих сигналов и построена по обычным схемам. С выхода демодулятора ЧМ-сигнал КСС подается на стереодекoder для формирования низкочастотных стереосигналов, а также в блок RDS, который демодулирует сигналы RDS, обнаруживает и исправляет ошибки в них, вызванные помехами. В блок RDS входят два устройства: демодулятор и декодер.

Демодулятор – это первое звено блока RDS. В нем сигналы RDS выделяются из SAP и преобразуются в две параллельные последовательности импульсных сигналов: RDA – с данными информации и RCL – с сигналами синхронизации. Наличие этих двух последовательностей необходимо для декодирования RDA.

В приёмнике RDS на выходе демодулятора RDS формируется двоичный сигнал, в котором надо выделить начало каждого кадра, а в

кадре – начало каждого блока. Эту задачу решает система кадровой и блочной синхронизации.

Для обеспечения нормальной работы системы синхронизации в приёмнике RDS на передающей стороне в каждом блоке на проверочные биты накладываются офсетные слова из 10 бит путём побитового сложения по модулю два (M2) проверочных бит и бит офсетных слов, причём для каждого блока офсетные слова разные. На рис. 1.6 приведена структурная схема декодера RDS.

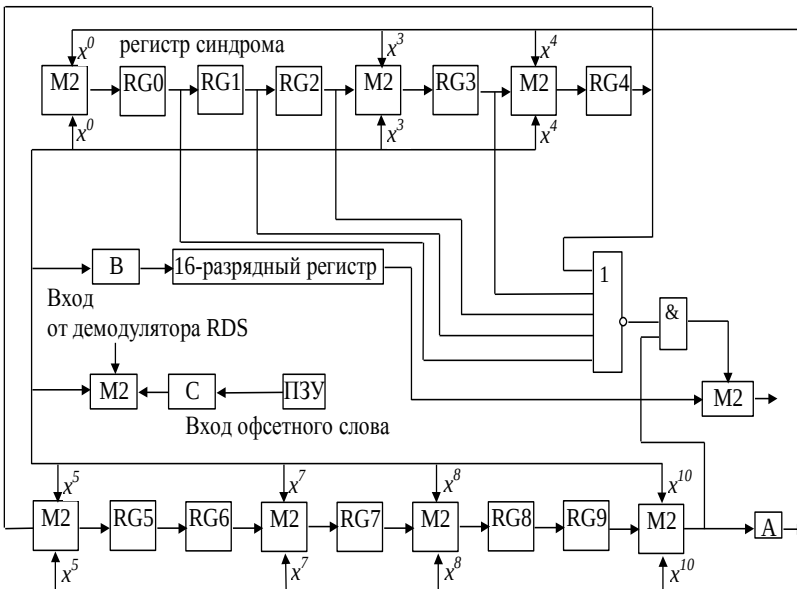


Рис. 1.6

Задача декодера – выделить в каждом блоке информационные биты и проверить их на отсутствие ошибок с помощью проверочных бит. При обнаружении ошибок в информационных битах декодер может исправить их или запретить запись информационных бит в память, если исправляющая способность проверочных бит не позволяет исправить все ошибки.

В состав декодера RDS входят два регистра: 16-разрядный последовательный регистр и 10-разрядный регистр синдрома.

На входе декодера включен узел сложения по модулю два (M2), на второй вход которого поступают офсетные слова из постоянного

запоминающего устройства (ПЗУ). Предположим, что кадровая и блочная синхронизация работают нормально. Это означает, что на приёме точно известно, какой из четырёх блоков поступил в данный момент на вход декодера и где в нём 16 информационных и 10 проверочных бит. Тогда после сложения по модулю два 10 проверочных бит побитно с известным офсетным словом, которое было наложено на проверочное слово в кодере RDS, мы получим эффект ликвидации наложения на проверочное слово офсетного. Таким образом, при правильной работе кадровой и блочной синхронизации декодер не ощущает наложения на проверочное слово офсетного, поэтому он может исправить ошибки в информационном слове по результатам вычисления синдрома.

Работает декодер следующим образом:

а) перед началом поступления очередного блока из 26 бит оба регистра обнуляются;

б) 16 информационных бит записываются одновременно в 16-разрядный регистр и в 10-разрядный регистр синдрома, при этом вентили А и В открыты, а вентиль С закрыт;

в) 10 проверочных бит при закрытом вентиле В и открытом вентиле С записываются в регистр синдрома, при этом на входном узле М2 компенсируется офсетное слово;

г) при открытом вентиле А происходит ротация содержимого регистра синдрома, по окончании поступления 10 проверочных бит вентиль А закрывается;

д) если в первых пяти ячейках регистра синдрома все нули, то информационные биты без коррекции поступают на выход декодера;

е) если в первых пяти ячейках регистра синдрома не все нули, то осуществляется либо исправление ошибок в информационных битах путём их сложения по модулю два с битами с выхода схемы И, либо запрещается выдача информационных бит на выход декодера;

ж) с приходом следующего блока процесс в декодере повторяется.

Блок синхронизации приёмника RDS содержит регистры, счётчики, дешифраторы и другие элементы. Очевидно, что декодер и блок синхронизации в приёмнике RDS могут быть реализованы на специализированном вычислителе (микропроцессоре), работающем по определённой программе.

Структурная схема демодулятора показана на рис. 1.7.

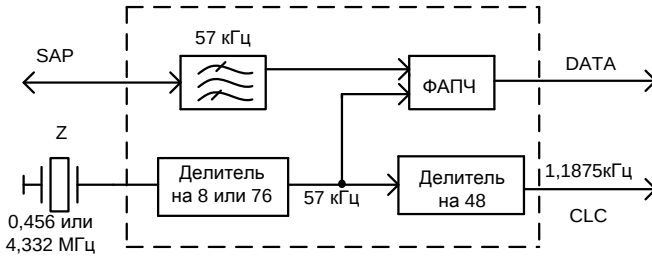


Рис. 1.7

Он имеет внешний кварцевый резонатор Z с частотой 0,456 или 4,332 МГц, которая затем делится соответственно на 8 или 76, а затем еще на 48. В результате формируются последовательности импульсов с частотами 57 и 1,1875 кГц. Первая совпадает с частотой поднесущей сигналов RDS, вторая – с частотой ее модуляции.

Сигнал КСС (SAP), полученный от ЧМ демодулятора приемной части, подается в демодулятор RDS на полосовой фильтр с центральной частотой 57 кГц.

Это позволяет устранить нежелательные помехи. Затем он передается на фазовый демодулятор сигналов RDS, в качестве которого используется устройство фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) особой конструкции. В результате сигнал RDS превращается в последовательность импульсов напряжения RDA, несущих информацию. Импульсы частотой 1,1875 кГц выводятся из демодулятора в виде последовательности импульсов синхронизации RCL.

Декодер RDS – это микроконтроллер со специализированным программным обеспечением (ПО), позволяющим обнаруживать ошибки в сигналах RDA и исправлять их, определять код передаваемой информации.

Производить проверку, а тем более корректировку сигнала, представленного последовательностью импульсов, затруднительно. Поэтому в декодере поток битов RDA разбивается на блоки по 26 бит в каждом. Биты блока переводятся в форму параллельного кода, и в этом виде осуществляется их анализ.

Состав блока таков: слово данных длиной 16 бит (2 байта) и слово контроля – 10 бит. Слово контроля содержит код защиты. Что касается кода защиты, то тип его в доступной литературе не сообща-

ется. Но судя по длине слова контроля его возможности по обнаружению и исправлению ошибок достаточно велики.

Декодеры RDS могут обнаруживать до 5 и исправлять до 4 битов из 16, составляющих слово данных. По окончании обработки блока он снова переводится в форму последовательного кода, но уже без слова контроля, поскольку оно выполнило свое назначение и в дальнейшем больше не используется.

Результатом работы декодера являются потоки импульсов DA-TA, CLC, START и ключевые сигналы TA, TP, M/S и др., передаваемые в драйвер – микросхему, управляющую функционированием табло. В драйвер поступают также сигналы из микроконтроллера о состоянии и режимах работы других блоков приемника. Все они из драйвера передаются на табло по линиям SEGM1 – SEGMn.

В качестве демодулятора RDS применяется микросхема TDA7330/D фирмы ST Microelectronics, структурная схема которой приведена на рис. 1.8.

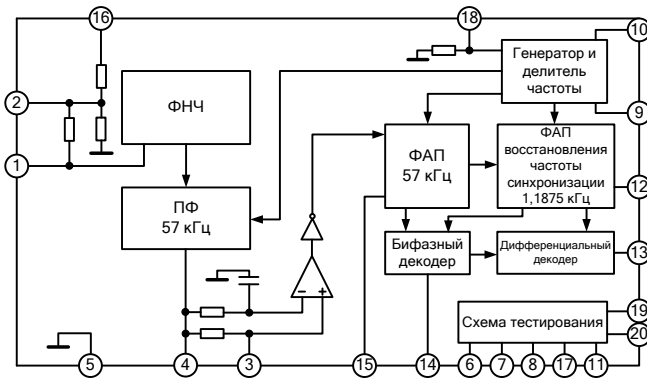


Рис.1.8

Назначение выводов микросхемы TDA7330/D приведено в табл. 1.3.

Таблица 1.3

№ вывода	Назначение
1	Вход сигнала RDS
2	Опорное напряжение
3	Неинвертирующий вход компаратора

Окончание табл. 1.3

№ вывода	Назначение
4	Выход фильтра
5	Общий вывод
6	Тестовый выход (не используется)
7	Тестовый выход (не используется)
8	Тестовый выход (не используется)
9	Выход генератора
10	Вход генератора
11	Тестовый выход 57 кГц
12	Выход синхронизации RDS
13	Выход данных RDS
14	Выход индикации качества сигнала
15	Выход индикации ARI
16	Напряжение питания
17	Тестовый выход (не используется)
18	Выбор частоты 4,332 МГц/8,664 МГц
19	Включение тестового режима
20	Вход сброса тестового режима

На рис.1.9 ПЧ выполнен на микросхеме K174XA15, для ЧД использована микросхема K174УРЗ, стереодекодер – микросхема AN7420, демодулятор RDS – микросхема TDA7330BD.

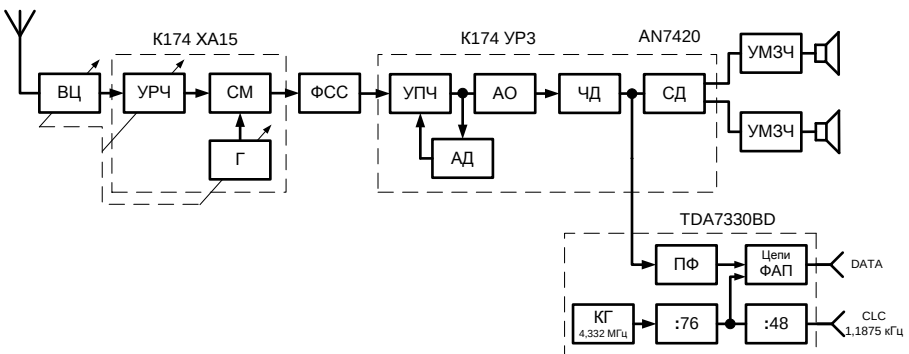


Рис. 1.9

1.3. Системы RBDS и DARC

Система радиовещательных данных **RBDS** (Radio Broadcasting Data System) принята в **США** в соответствии со стандартом Ассоциации электронных промышленников (EIA) и Национальной ассоциации вещателей (NAB).

В **Японии** аналогичная система была разработана NHK под названием Data Radio Cannel (**DARC**). На практике она используется с 1994 г., а с 1997 г. система DARC принята Европейским институтом стандартов в области связи в качестве стандарта ETS (ETS 300751).

В Европе новая система сохранила свое прежнее наименование – RDS. Чтобы избежать путаницы будем далее новую европейскую систему **RDS называть DARC**.

Система DARC так же, как и RDS, является технической основой для организации дополнительной радиовещательной службы, предназначенной для автоматической настройки приемников и дистанционного управления оборудованием, а также для распространения дополнительной информации, связанной или не связанной с содержанием основной программы. Возможности DARC расширены по сравнению с возможностями RDS и продолжают расширяться.

Области применения DARC:

- автоматическая настройка и коммутация в ЧМ-радиоприемниках;
- вещание информации, связанной с программой;
- радиотекст;
- дистанционное управление оборудованием;
- радиопейджинг;
- вещание дорожной информации;
- навигация автотранспорта;
- предупреждение чрезвычайных ситуаций;
- дифференциальное радиоопределение на местности с применением GPS;
- преобразование компьютерных файлов;
- электронная почта с многоточечной рассылкой факсов и "горячих" новостей информационных служб (агентств);
- базы данных и расширение на основе CD-ROM;
- электронная доска объявлений (bulletien board);
- персональная цифровая помощь и др.

Система DARC работает с носимыми, возимыми, стационарными радиоприемниками, приемниками на компьютерных платах и приставках.

Технические особенности DARC следующие.

Структура мультиплексирования DARC соответствует семиуровневой модели Межсоединений открытых систем (OSI). Особенности на различных уровнях следующие.

Уровень 1 (физический) – система DARC с параметрами:

- поднесущая 76 кГц (4-я гармоника от основной частоты поднесущей пилот-тона 19 кГц) (рис.1.10);
- вид модуляции: частотная манипуляция с управлением уровня по минимуму уровня (Level control Minimum frequency Shift Keying – L-MSK);
- максимальная битовая скорость 16 кбит/с.

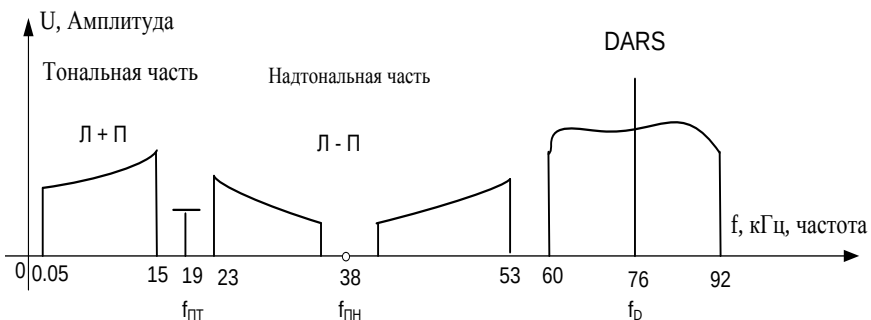


Рис. 1.10

Уровень 2 (транспортный – data link layer) – защита от ошибок с порождающим полиномом кодирования (272,190).

Уровни 3, 4, 5 – мультиплексирование, аналогичное мультиплексированию, используемому в системе цифрового радиовещания (ЦРВ), включая:

- канал сервиса (список альтернативных частот AF, список служб и т.п.);
- канал с длинными сообщениями: преобразование файлов;
- канал с короткими сообщениями: текущие данные (в реальном времени);
- условный доступ.

Интерфейсы сервиса зависят от предоставляемых полномочий данных "прозрачного" канала.

Кодирование

В системах применено более мощное помехозащитное кодирование, а также криптокодирование для обеспечения условного доступа. Информационная скорость при передаче данных 9,6 кбод.

Основные отличия системы DARC от системы RDS.

В новой системе для передачи данных отведена более широкая полоса в радиочастотном спектре, а пропускная способность увеличена. Структура кодирования сообщений максимально гармонизирована с аналогичной структурой, принятой для передачи данных в цифровом радиовещании, а также в цифровом телевизионном вещании. Таким образом, эта система приблизилась к системе мультимедиа.

Прежние группы применения сохранились. Но в новой системе они дополнены и расширены, что позволило ввести новые службы и значительно расширить сферу применения вещания радиоданных. Краткий перечень таких изменений:

- наименование типа программ (PTYN) – расширено с учетом международного опыта кодирования музыкальных жанров;
- наименование быстрого сервиса программ (Fast PS) – расширено дополнением группы 15B;
- определение на местности и навигация (LN – Location and Navigation) – позволяет осуществлять точное определение координат с использованием сигналов со спутников и сигнала местной радиостанции (дифференциальный метод);
- применение открытых данных (ODA – Open Data Application) – группа значительно расширена и открыта для дальнейшего расширения (с соблюдением процедур по регистрации новых применений);
- расширенный протокол радиопейджинга (EPP – Enhanced Radio-Paging Protocol) – расширен;
- идентификация языка (LI – Language Identification) – расширено число языков и используемых символов;
- информация декодера (DI – Decoder Information) – расширена для передачи сигналов автоматического управления декодером приемника;
- расширенный код страны (ECC – Extended Country Code) – расширен с включением новых стран;

- структура идентификации программы PI от B000-FFFF (PI Structure from B000-FFFF) – дополнена до 32 позиций;
- перекрестная ссылка на аналоговый SCA (Analog SCA Cross-Referencing) – новая группа применения;
- дополнение интегральной цифровой службы (IRDS Updating) – новая группа применения;
- таблица кодов типов программ (PTY Code Table) – расширена;
- система тревожного оповещения MBS EAS (Emergency Alert System) – интенсивно развивается за рубежом службами, аналогична службам МЧС, МВД в нашей стране;
- наименование типа передач (PTYN) – расширено.

В системе DARC радиослушателей могут привлечь новые возможности системы – это и радиоопределение на местности (LN), и снижение риска на дорогах (MBS EAS), и получение услуг, приближающихся к услугам Интернета. Однако стоимость DARC-приемника, конечно, выше стоимости традиционного приемника RDS.

Вещатели могут привлечь, прежде всего, расширенные возможности системы DARC, которые не только будут способствовать расширению аудитории (соответственно увеличению рейтинга радиостанции), но и привлечению средств третьих сторон за оказание услуг по размещению информации в эфирных передачах. Стоимость передающего оборудования DARC выше стоимости традиционного оборудования RDS, но не настолько, чтобы пренебречь открывающимися новыми возможностями для радиостанции.

При использовании системы RDS выпуск и учет данных обеспечиваются службой (или службами) вещания данных, которые могут входить в состав радиостанции и/или привлекаться со стороны (рис. 1.11).

При использовании более производительной системы DARC, когда группы назначения разнообразны, а число поставщиков информации велико и имеется значительный поток собственной дополнительной текущей информации вещателю, помимо привлеченных сторонних служб, целесообразно иметь собственную службу вещания данных (рис. 1.12).



Рис.1.11



Рис. 1.12

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что системы радиовещания данных являются мощным средством расширения предоставляемых информационных услуг населению. Последние версии этих систем позволяют выйти за рамки традиционных радиовещательных услуг. Они весьма привлекательны как для слушателей, так и для вещателей. Затраты вещателей на создание и эксплуатацию подобных систем могут быть компенсированы прибылью, полученной за предоставляемые третьим лицам услуги по размещению их информации в потоке данных радиостанции.

1.4. Система FMX

Особенностью рассмотренных выше систем является заметное уменьшение величины зоны обслуживания при переходе передатчика из монофонического в стереофонический режим работы. От этого недостатка свободна система FMX (Extendent Range FM stereo System), разработанная в США в 1985 г. Она совместима с системой пилот-тона и позволяет расширить зону высококачественного стереоприема (при отношении С/Ш 50 дБ) практически до размеров зоны обслуживания передатчика, работающего в монорежиме. Расширение зоны обслуживания достигается в данном случае применением новой оригинальной системы адаптивного компандирования разностного сигнала u'_s , передаваемого в дополнительном канале на поднесущей частоте.

Компрессированный сигнал u'_s передается в виде АМ-колебания с подавленной поднесущей частотой 38 кГц, как и при обычной стереопередаче в системе с пилот-тоном, но в квадратуре к основной составляющей (рис. 1.13, а).

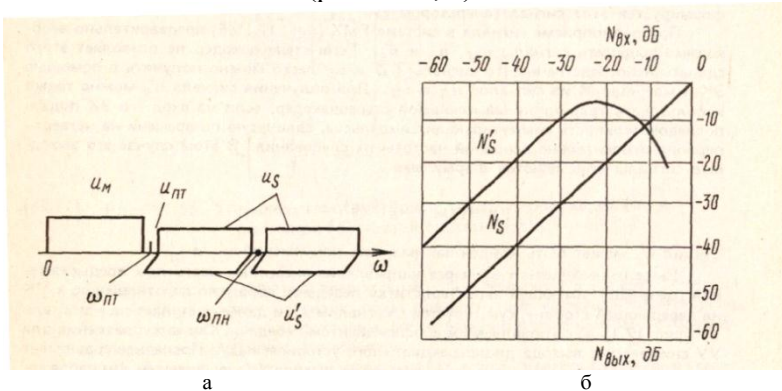


Рис. 1.13

При использовании ключевых методов декодирования (или синхронного детектора) обычные стереодекодеры не реагируют на квадратурную составляющую поднесущей, чем и достигается совместимость обеих систем. Приемники системы FMX оснащаются устройством переключения в режим FMX, срабатывающим от специального инфразвукового сигнала, передаваемого в том же квадратурном канале.

В системе FMX используется компандерная система со специальной формой амплитудной характеристики (рис. 1.13,б) компрессора. Пока уровень разностного сигнала u_s на входе компрессора мал (не превышает -30 дБ относительно номинального значения) коэффициент передачи компрессора остается постоянным и равным $+20$ дБ. Иначе говоря, сигналы с малым уровнем проходят через компрессор с повышенным на 20 дБ коэффициентом передачи. При средних уровнях сигнала u_s ($-30 \dots -20$ дБ) амплитудная характеристика компрессора начинает постепенно изменять наклон в сторону уменьшения коэффициента передачи так, что при уровнях сигнала на входе, превышающих -20 дБ, коэффициент передачи компрессора начинает уменьшаться тем значительнее, чем выше уровень сигнала u_s . Вследствие этого уровень квадратурной составляющей сигнала в дополнительном канале также резко уменьшается.

Кроме компрессии, сигнал u_s на передающей стороне подвергается еще частотным предискажениям с целью дополнительного снижения уровня шумов на приемной стороне системы. Для этого используются две RC-цепи с постоянными времени $0,2$ и $1,0$ мс.

Структурные схемы передающей и приемной частей системы FMX приведены на рис. 1.14.

Схема формирования КСС (рис. 1.14,а) в этой системе содержит: матрицу M , формирующую суммарный u_M и разностный u_s сигналы стереопары; генератор частот ГЧ, формирующий частоту пилот-тона $\omega_{ПТ}$ и два колебания с поднесущей частотой 38 кГц, сдвинутые по фазе друг относительно друга на 90° ; балансные модуляторы $БМ_1$ и $БМ_2$ для формирования основной (стандартной для системы с пилот-тоном) и квадратурной надтональных частей КСС; сумматор Σ_1 , на выходе которого имеем УКСС, уплотненный в надтональной части квадратурной составляющей. Перед подачей на сумматор Σ_2 и $БМ_2$ квадратурного канала разностный сигнал u_s подвергается компрессированию K и упомянутым выше частотным предискажениям и "частотной коррекции" (ЧК).

Для идентификации режима работы системы FMX и обеспечения возможности автоматической коммутации приемных устройств в модулирующий сигнал u'_s , с помощью сумматора Σ_2 , вводится с малым уровнем практически не слышимый при ра-

диоприме инфразвуковой сигнал идентификации u_{II} . Его частота составляет 10 Гц, формируется этот сигнал генератором ГИ.

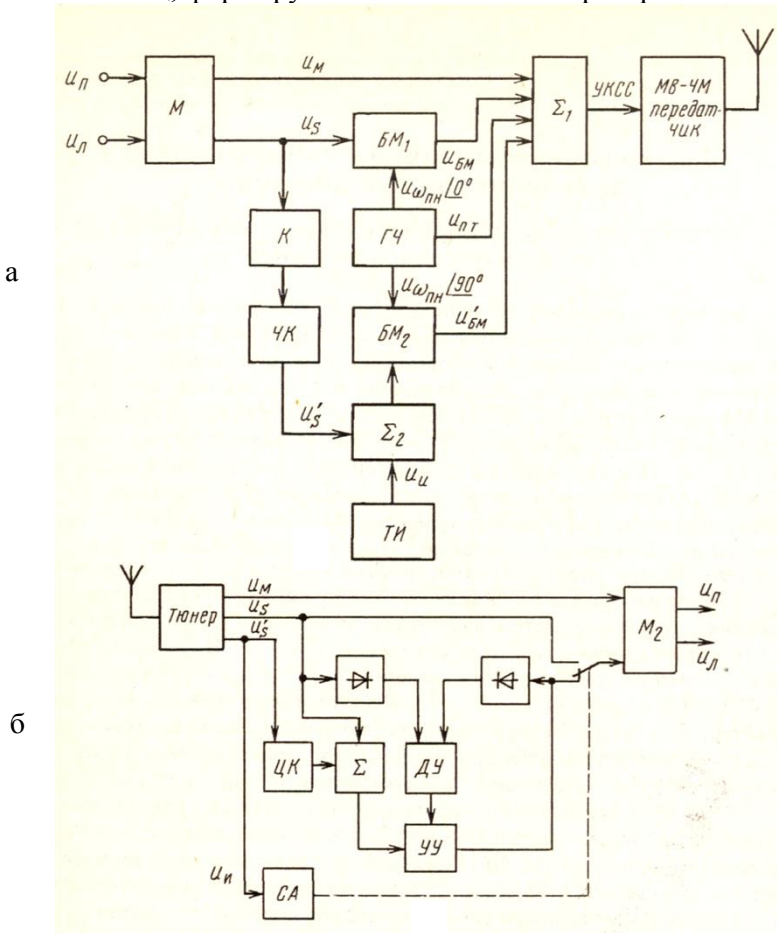


Рис. 1.14

При радиоприеме сигнала в системе FMX (рис. 1.14,б) предварительно необходимо выделить сигналы u_M , u_S и u'_S . Если стереодекодер не позволяет этого сделать непосредственно, то сигналы u_M и u_S легко можно получить с помощью ЭК и матрицы М из сигналов u_l и u_n . Для получения сигнала u'_S можно также исполь-

зовать традиционный ключевой стереодекодер, если на вход его ЭК подать последовательность коммутирующих импульсов, сдвинутую по времени на четверть периода относительно основной частоты их следования. В этом случае его выходные сигналы описываются формулами:

$$u'_{\text{л}} = u_{\text{М}} + u'_{\text{с}}; \quad u'_{\text{п}} = u_{\text{М}} - u'_{\text{с}}.$$

Сигнал $u'_{\text{с}}$ может быть найден как разность напряжений $u'_{\text{л}}$ и $u'_{\text{п}}$.

Выделенный сигнал $u'_{\text{с}}$ через цепь внесения частотных предискажений (ЦК), имеющую характериститку передачи обратную по отношению к ЧК на передающей стороне, суммируется с сигналом $u_{\text{с}}$ и далее поступает на усилитель УУ (рис. 1.14,б) с управляемым коэффициентом передачи. Сигнал управления для УУ снимается с выхода дифференциального устройства ДУ. Последнее сравнивает уровень выпрямленного сигнала, снимаемого с выхода УУ с выпрямленным напряжением сигнала $u_{\text{с}}$ и регулирует усиления УУ таким образом, чтобы уровни сигналов на входах ДУ совпадали бы с высокой степенью точности. Благодаря этому на выходе УУ образуется восстановленный сигнал $u_{\text{с}}$, имеющий требуемый уровень, но при существенно лучшем отношении сигнал/шум. Далее путем обычного суммарно-разностного преобразования, выполняемого в матрице М_2 из сигналов $u_{\text{М}}$ и $u_{\text{с}}$, (или $u'_{\text{с}}$ с нужным уровнем) восстанавливаются сигналы стереопары $u_{\text{л}}$ и $u_{\text{п}}$. Точность восстановления разностного сигнала, ранее подвергнутого на передающей стороне компрессии, является важным фактором, определяющим в конечном итоге переходное затухание между каналами стереопары.

Перевод приемного устройства в режим FMX осуществляется с помощью схемы автоматики СА, управляемой сигналом идентификации $u_{\text{и}}$.

К 1987 г. фирмами Sanyo (Япония) и Sprague (США) были разработаны однокристалльные микросхемы стереодекодеров, включающие в себя все необходимые элементы для обработки сигналов FMX. Подобные технические решения применимы и в системе с полярной модуляцией. Необходимые разработки в России завершены. Однако при их реализации следует помнить о несовместимости системы FMX с декодерами, содержащими полярный детектор или АМ-детектор в тракте разностного сигнала S.

1.5. Применение системы RDS в России

Первые попытки применения системы RDS в Москве начались только в январе 1997 года. Сигнал RDS был зафиксирован на частотах трёх радиостанций:

103,0 МГц – Радио РОКС;

100,1 МГц – Серебряный Дождь;

101,7 – Престиж-Радио.

В мае 1997 года идентификатор RDS появился также у радиостанций Ностальжи (100,5 МГц) и Русского Радио (105,7).

На восьмиразрядном дисплее приемника их названия отображались соответственно как:

* ROKS *, SIL*RAIN, PRESTIGE, NOSTALGI, РУССКОЕ.

Однако, Радио РОКС приостановило вещание в начале марта, а в конце июня исчез идентификатор RDS на частотах Престиж-Радио и Ностальжи.

Фактически, на сегодня, «Серебряный Дождь» остается единственной станцией, использующей RDS.

Тем не менее определенный набор информации можно получить с помощью RDS, например, несколько станций передают прогноз погоды, курс американского доллара, немецкой марки и других валют, рассказывают о ситуации на дорогах, сообщают всяческие полезные телефоны (служба спасения и тому подобное), анонсируют культурные события (выставки, театральные и кинопремьеры), а также указывают фамилию ведущего передачи.

В Санкт-Петербурге и Самаре имеется всего по две RDS-станции, а в других крупных городах - по одной.

Системы RDS в России имеет некоторые особенности, так как эта система была разработана в Германии и исходит из германских реалий. Наиболее эффективна она при совместной работе нескольких RDS-станций в общей сети. К примеру, в Германии имеется 5 государственных радиoproграмм, достаточно специализированных. И дорожную информацию передаёт одна из них – третья. В момент начала такой передачи остальные программы дружно транслируют RDS-сигнал, извещающий об этом факте. Независимым коммерческим станциям в Москве будет очень трудно договориться о таком взаимодействии.

Идентификатор ALARM в Германии предназначен для правительственных и экстренных сообщений. Он имеет приоритетный статус по отношению к остальным и удерживает приёмник на частоте передающей его станции (немецкий менталитет). Отечественная коммерческая станция вполне может использовать его просто для привлечения к себе внимания или ещё хуже – в рекламных целях. Такие действия можно однозначно квалифицировать как радиохулиганство.

Если в каталогах 1994 г. значились только считанные модели автомагнитол и тюнеров, оснащённых декодером RDS, то в настоящее время среди аппаратуры Brand Name большая часть автомагнитол, почти все тюнеры, ресиверы, музыкальные центры (настоящие) и даже некоторые минисистемы несут на себе лэйбл RDS-EON. Такая аудиосистема позволяет пользоваться рядом преимуществ, которые обеспечивает система радиоданных (RDS).

Функции системы RDS автоматически активируются при включении радиоприемника. Если принимаемая радиостанция может передавать радиоданные RDS, то вместо частоты настройки на дисплее отображается название радиостанции. Если радиостанция ведет передачу на нескольких частотах, то ваша аудиосистема автоматически настраивается на частоту с наиболее сильным сигналом. Поэтому во время движения нет необходимости вручную перенастраивать приемник на другую частоту в пределах той же сети RDS. Путешествуя по различным регионам, вы можете прослушивать трансляцию определенной радиостанции в диапазонах УКВ и FM даже при изменении частоты вещания.

Систему RDS можно активировать или отключить. Чтобы активировать функции RDS включите аудиосистему, затем еще раз нажмите на рукоятку PWR VOL включения аудиосистемы и удерживайте ее более двух секунд. После этого нажмите на кнопку 1 выбора запрограммированной радиостанции. При каждом нажатии на кнопку циклически меняются режимы 1 AF ON (функция RDS активна) и 1 AF OFF (функция RDS отключена).

Для подтверждения сделанного выбора снова нажмите на рукоятку PWRA/OL.

Функция AF(настройка на альтернативную частоту) обеспечивает автоматическую перенастройку радиоприемника на альтернативные частоты требуемой вам радиопрограммы в пределах сети RDS.

Если сигнал радиостанции RDS становится настолько слабым, что радиоприемник уже не может его принимать, система сохраняет последнюю частоту настройки, которая выводится на дисплей вместо наименования радиостанции.

При настройке на радиостанцию RDS с дисплея исчезает частота приема, которая заменяется либо на наименование радиостанции, либо на тип радиопрограммы (PTY). Чтобы изменить информацию, выведенную на дисплей, с наименования радиостанции на тип радиопрограммы или наоборот, нажмите на кнопку PTY/NEWS и удерживайте ее не менее 2 секунд.

Если нажать и отпустить кнопку TA, то система перейдет в режим ожидания передачи дорожных сообщений, а на дисплее появится индикатор TA.

Если выбран тип программы TP, (что подтверждается выводом на дисплей индикатора TP), то возможен прием радиостанций, входящих в систему передачи информации о дорожном движении.

Благодаря перекрестным ссылкам, передачи дорожных сообщений могут приниматься во время вещания радиостанций, передающих программы других типов, в пределах той же сети RDS.

Вы также можете прослушивать информацию о дорожном движении во время воспроизведения компакт-диска или кассеты (при наличии в аудиосистеме соответствующего плеера). Если до начала прослушивания диска или кассеты радиоприемник был настроен на станцию, передающую дорожную информацию, то аудиосистема автоматически приостановит воспроизведение диска (кассеты), как только начнется передача дорожного сообщения. При этом на дисплей должен быть выведен индикатор TA. По окончании передачи дорожного сообщения система вернется к воспроизведению диска или кассеты.

Вы можете отрегулировать громкость во время передачи дорожного сообщения. Уровень громкости запоминается, и следующее дорожное сообщение будет транслироваться с той же громкостью. Вы не можете установить громкость ниже некоторого минимального уровня. Громкость передач типа PTY NEWS (Новости) и PTY ALARM (Экстренное сообщение) также можно отрегулировать.

Если аккумуляторная батарея автомобиля разрядится или будет отсоединена, то по умолчанию будет установлен 10-й уровень громкости передачи дорожных сообщений.

Для отключения функции приема дорожных сообщений нажмите еще раз на кнопку ТА, при этом индикатор ТА исчезнет с дисплея.

Если режим ТА активен, то при автоматическом поиске аудиосистема будет настраиваться только на радиостанции, передающие дорожные сообщения (ТР).

Звуковой сигнал TR Alarm. Если сигнал радиостанции, передающей дорожные сообщения, становится слишком слабым, то индикатор ТР гаснет, и через 70 секунд после этого в течение 10 секунд подается звуковой сигнал, напоминающий вам о необходимости настройки на другую ТР-радиостанцию. Если после восстановления приема индикатор снова гаснет, то подача звукового сигнала возобновляется. Если функция ТА активна (на дисплей выведен индикатор ТР), то звуковой сигнал подается также при попытке плавной настройки на другую станцию или при использовании кнопок предварительной настройки.

Если сигнал радиостанции, передающей дорожные сообщения, становится слишком слабым во время прослушивания компакт-диска или кассеты, то индикатор ТР гаснет. Система автоматически переключается на станцию с наиболее сильным сигналом и остается в режиме ожидания передачи дорожного сообщения.

После нажатия и удержания в течение 2 секунд кнопки РТУ/NEWS на дисплее отображается тип принимаемой радиопрограммы, передаваемой выбранной радиостанцией RDS: например, если станция передает радиопостановку, то на дисплее появляется индикатор DRAMA. Если передается научно-популярная программа, то на дисплее появляется индикатор SCIENCE и т.д. Основные типы радиопрограмм перечислены ниже.

NEWS: Краткие новости – факты, события, комментарии, репортажи и т.д.

AFFAIRS: Расширенные новостные сообщения.

SPORT: Спортивные передачи.

EDUCATE: Образовательные программы.

DRAMA: Радиопостановки и сериалы.

SCIENCE: Научно-популярные программы о природе, науке и технике.

POP MUSIC: Популярная музыка.

L.CLASS: Легкая и классическая музыка (не для знатоков).

При повороте рукоятки настройки TUNE на дисплее будут меняться наименования типов радиопрограмм. После того, как вы выберете тип радиопрограммы система будет искать радиостанцию, передающую программу этого типа. При первом обращении к функции выбора типа программы система устанавливает тип NEWS (Новости), согласно заводским настройкам.

Выбрав тип радиопрограммы, не позже, чем через 5 секунд нажмите на любую сторону клавиши SEEK/SKIP. Система приступит к поиску станции РТУ данного типа. При отсутствии подходящей радиостанции система через 5 секунд выводит на дисплей сообщение NO РТУ и выходит из режима поиска.

Если выбранная радиостанция RDS не передает информацию о типе программы, на дисплей выводится сообщение NONE (нет информации). Если приемник настроен не на RDS-станцию, то на дисплей на 5 секунд выводится сообщение NO RDS (не RDS-станция).

Режим настройки типа программы отменяется через 5 секунд после прекращения поиска с помощью клавиши SEEK/SKIP.

Некоторые радиостанции могут передавать информацию, не совпадающую с названием типа радиопрограммы. В режиме поиска радиостанций, передающих программы данного типа, настройка выполняется в FM-диапазоне с шагом 50 кГц. При переходе к настройке функций AF или TA шаг настройки увеличивается до 100 кГц.

2. РПрУ дискретных сигналов

2.1. Прием импульсных сигналов

Импульсные сигналы используют как для передачи дискретной кодированной информации, так и для передачи непрерывных (аналоговых) сообщений в связи, радиолокации и т.д.

Цепи радиочастоты и промежуточной частоты импульсных РПрУ не имеют существенных особенностей. Специфика импульсных сигналов отражается на детектировании, последетекторной обработке, а также на процессах в цепях автоматических регулировок АРУ, АПЧ и т.д.

Наиболее широко импульсные сигналы применяются в системах с ВРК (многоканальных). Соответственно обрабатываются сигналы с ШИМ, ЧИМ, ФИМ, ФИМ, ДМ.

Итак, в импульсных РПрУ имеют место сигналы двух видов:

1. В УРЧ, УПЧ – радиоимпульсы.

2. На выходе детектора - видеоимпульсы.

Схема РПрУ импульсных сигналов представлена на рис. 2.1.

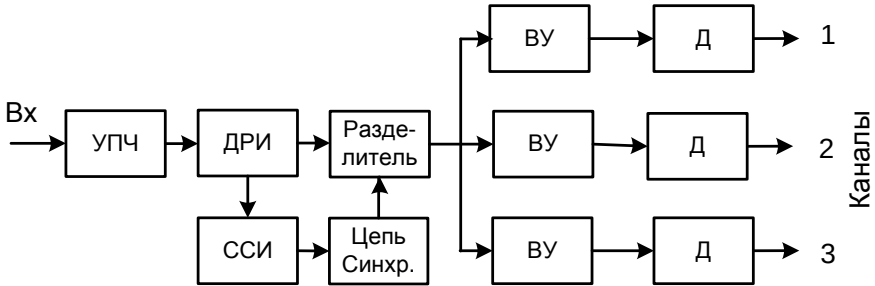


Рис. 2.1

РПрУ строится обычно по супергетеродинной схеме и отличается сравнительно высоким диапазоном частот и широкой полосой пропускания.

Радиоимпульсный сигнал с выхода УПЧ детектируется в зависимости от вида вторичной модуляции АД, ЧД или ФД.

Видеоимпульсы разделяются по каналам с помощью селектора синхрои́мпульсов ССИ и цепи синхронизации.

Тип демодулятора Д определяется видом первичной модуляции (импульсная, т.е. АИМ, ШИМ, ФИМ и т.д.).

Для правильного распределения канальных импульсов передается специальный синхросигнал.

Следует отметить, что для повышения эффективности детектирования (для повышения уровня постоянной составляющей сигнала) применяют ряд специальных мер. Так, при обработке сигналов с АИМ, используется расширение импульсов в пределах тактового интервала. При обработке сигналов с ФИМ (ВИМ) используют его преобразование в ШИМ или АИМ и затем демодулируют с помощью ФНЧ и т.д.

На рис. 2.1 рассмотрен пример построения импульсного РПрУ сложных сигналов (многоканальных).

Схема простейшего РПрУ сигналов с АИМ имеет вид, представленный на рис. 2.2.



Рис. 2.2

В этом случае передается одно сообщение, поэтому при АИМ нет необходимости в цепях синхронизации.

Функции детектирования радиоимпульсов и демодулирования в этом случае могут быть совмещены.

Наличие синхросигнала является обязательным в случае одноканального приема сигналов с ФИМ, что определяется самим видом модуляции. А при обработке одноканальной ШИМ схема может быть построена в соответствии с рис.2.2.

Из-за конечной полосы пропускания трактов УРЧ и УПЧ возникают искажения огибающей радиоимпульса в линейном тракте приемника.

Оптимальной по шумам полоса пропускания линейной части приемника вычисляется по формуле

$$\Pi_{\text{опт}} = \frac{1,37}{\tau_0},$$

где τ_0 – длительность импульса.

При оптимальной по шумам полосе пропускания линейной части приемника огибающая радиоимпульсов существенно искажается, что уменьшает крутизну ее фронтов.

При обработке сигналов с ВИМ (ЧИМ и ФИМ) важно сохранить форму импульсов и точно фиксировать время его прихода. В этом случае полосу линейного тракта расширяют в несколько раз по сравнению с оптимальным значением. Ясно, что в этом случае помехоустойчивость явно ухудшается.

При обработке всех видов импульсных сигналов, кроме АИМ, важным является возможность точного восстановления импульсов в РПрУ.

Обычно для этого ограничивают импульсы на уровне, близком к 0,5. Если уровень помех мал, то форма импульсов практически восстанавливается. Это особенно важно в радиорелейных линиях, где обычно несколько промежуточных пунктов и поэтому восстановление сигнала повышает помехоустойчивость. Для АИМ это не применимо, что определяет ее низкую помехоустойчивость.

Оценим помехоустойчивость ФИМ и ШИМ.

Для них информация о сообщении заложена в положении фронтов импульсов. Фронты смещаются под действием помех.

Выходное соотношение сигнал/шум $q_{\text{ВЫХ}}$ может быть представлено в виде

$$q_{\text{ВЫХ}} = \Delta t_m^2 \Pi^2 q_{\text{ВХ}}, \quad (2.1)$$

где Δt_m – максимальный сдвиг импульса.

Из (2.1) следует, что помехоустойчивость возрастает при увеличении сдвига Δt_m и полосы пропускания фильтра Π . Однако максимум Δt_m не должен превышать половины периода следования и импульсов T , поэтому

$$q_{\text{ВЫХ}} = \frac{T^2 \Pi}{4} q_{\text{ВХ}}. \quad (2.2)$$

Учитывая выражение для отношения сигнал/шум на входе демодулятора по мощности получим

$$q_{\text{ВЫХ}} = \frac{T^2 \Pi^2 U^2}{8 U_m^2}. \quad (2.3)$$

Следует, однако, учитывать, что полоса Π влияет на мощность помехи. Соотношение (2.3) справедливо только для слабых помех ($q_{\text{ВХ}} \gg 1$). По мере увеличения Π мощность помех растет и начинает достигать порога ограничения регенератора. На интервалах, где отсутствует сигнал, это приводит к появлению ложных импульсов. При сильной помехе, обратной по знаку импульсному сигналу, наблюдается пропадание импульсов.

Оптимальным является значение Π , при котором $q_{\text{ВЫХ}}$, зависящее от вида вторичной модуляции и от характеристик сигнала и помех, максимально.

При сильных помехах $q_{\text{ВЫХ}}$ изменяется на противоположное $q_{\text{ВХ}}$.

При $q_{\text{ВХ}} > q_0$ зависимость линейная в соответствии с (2.2).

При $q_{\text{вх}} < q_0$ величина $q_{\text{вых}}$ резко падает.

Значение q_0 характеризует порог помехоустойчивости, подобный тому, что имеет место при ЧМ (рис. 2.3).

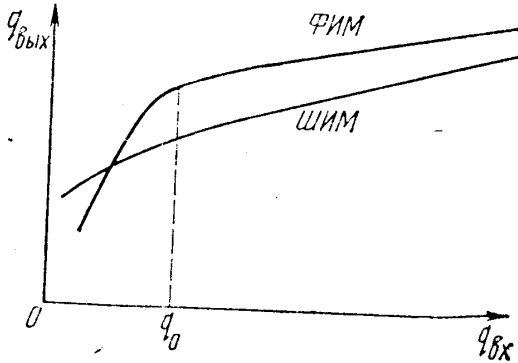


Рис. 2.3

Из рассмотрения рис. 2.3 следует, что при одинаковой средней мощности сигнала ШИМ отличается меньшей помехоустойчивостью при больших сигналах и большей помехоустойчивостью при малых сигналах. Порог помехоустойчивости в системе с ШИМ наступает при более низких значениях $q_{\text{вх}}$.

2.2. РПрУ сигналов с КИМ

Помимо дискретизации в соответствии с теоремой Котельникова и импульсной модуляцией в системах с КИМ осуществляется кодирование.

По Котельникову тактовая частота дискретизации равна

$$f_T \geq 2F_M,$$

где F_M - максимальное значение модулирующей частоты.

При АИМ высота импульсов определяется сообщением. При КИМ импульсы, получаемые при АИМ, квантуются по уровню. Затем каждому уровню присваивается своя кодовая комбинация из n импульсов. Рассмотрим пример простейшего двоичного кодирования.

Таблица 2.1

Уровни квантования	0	1	2	3	4	5	6	7
Коды	000	100	010	110	001	101	011	111

То есть можно передать $L=2^n$ уровней квантования.

Ясно, что каждый импульс сообщения преобразуется в комбинацию из n импульсов, и поэтому длительность импульса должна быть уменьшена в n раз, а следовательно, во столько же раз следует расширить полосу пропускания РПрУ.

Так, для передачи сообщения с полосой F_m требуется F_m кодовых комбинаций в секунду или $2nF_m$ импульсов в секунду, т.е. необходимая минимальная полоса частот равна nF_m .

Ширина спектра радиосигнала зависит от вида дискретной модуляции (манипуляции) и длительности импульса.

Приемное устройство, в соответствии с изложенным, должно содержать детектор, регенератор, преобразователь кодовых комбинаций в квантованную АИМ и демодулятор (рис. 2.4).

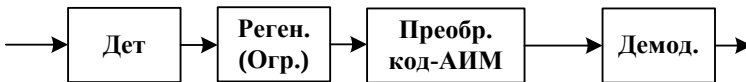


Рис. 2.4

2.3. Прием телеграфных сигналов

Современное развитие техники делает все более актуальной разработку и более широкое внедрение цифровых методов формирования и обработки сигналов, в том числе цифрового телевидения. При этом важной, с точки зрения помехоустойчивости, является проблема правильности регистрации, которую осуществляют обычно методами стробирования и интегрирования. По способу синхронизации моментов взятия отсчета различают синхронный и стартстопный методы (рис. 2.5).

При синхронном методе (рис. 2.5,а) периодически передаются специальные сигналы синхронизации распределителей приемников, работающих в непрерывном режиме.

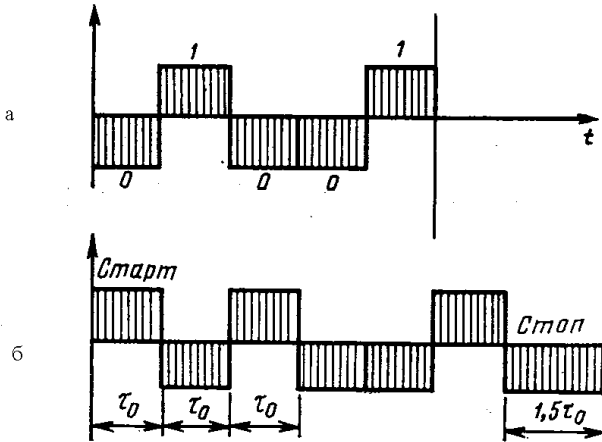


Рис. 2.5

При стартстопном (рис. 2.5,б) – в начале каждой кодовой комбинации передается стартовая посылка, запускающая приемный распределитель, а в конце – стоповая посылка, длительностью $(1,5-2) \tau_0$, останавливающая его.

При стартстопном, в отличие от синхронного метода, приемный распределитель работает циклами, соответствующими интервалу передачи кодовой комбинации.

Важным параметром телеграфных (цифровых) систем является скорость работы V , определяемая числом посылок сигнала за секунду, выражаемая в бодах:

$$V = \frac{1}{\tau_0}.$$

Для телетайпов обычно $V=50$ бод, иногда 200 бод.

В общем случае скорость в системах передачи дискретных сообщений измеряют числом передаваемых двоичных символов в секунду

$$R = \frac{1}{\tau_0} \log_2 m,$$

где $m = 2$, тогда

$$R = \frac{1}{\tau_0} = V,$$

это совпадает со скоростью в бодах.

При рассмотрении спектральных характеристик сигнала вводится понятие частоты манипуляции:

$$F_{\text{MH}} = \frac{1}{2} \tau_0 = \frac{V}{2}.$$

Численно она равна частоте первой гармоники периодической последовательности двоичных посылок. Частота следования посылок определяется их тактовой частотой

$$F_T = \frac{1}{\tau_0} = V = 2F_{\text{MH}}.$$

Реальный телеграфный сигнал – случайная последовательность посылок постоянного тока. Его спектральные свойства описываются энергетическим спектром $G(\omega)$, который можно найти преобразованием Фурье от функции корреляции сигнала $B(\tau)$. Для двухполярной последовательности равновероятных и независимых посылок амплитуды A функция корреляции $B(\tau)$ определяется выражением

$$B(\tau) = \begin{cases} A^2(1 - \frac{|\tau|}{\tau_0}), & \text{при } |\tau| \leq \tau_0 \\ 0, & \text{при } |\tau| > \tau_0. \end{cases}$$

Откуда односторонний энергетический спектр равен:

$$G(\omega) = 2 \int_{-\infty}^{\infty} B(\tau) \cos \omega \tau d\tau = 2A^2 \tau_0 \frac{\sin^2(\frac{\omega \tau_0}{2})}{\frac{\omega \tau_0}{2}}. \quad (2.4)$$

В соответствии с (2.4) график представлен на рис. 2.6.

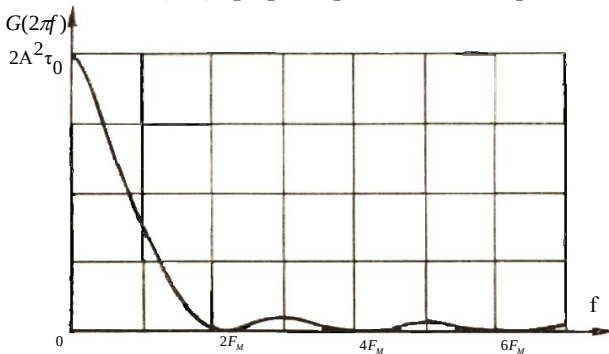


Рис. 2.6

В полосе

$$F = \frac{1}{\tau_0} = 2F_M,$$

называемой реальной шириной спектра, сосредоточено до 90 % мощности сигнала.

Важно отметить, что при передаче данных предъявляются высокие требования к помехоустойчивости. Вероятность ошибки при приеме элемента сообщения не должна превышать 10^{-7} – 10^{-8} , поэтому в этих системах применяют помехоустойчивые коды или автозапрос с повтором.

Искажения обычно определяются ограниченностью полосы пропускания РПрУ, подавлением верхних частот спектра сигнала.

Различают два вида искажений.

Искажения, вызванные переходными процессами. Это межсимвольные искажения, проявляющиеся в изменении величины и длительности элементов сигнала, их называют переменными амплитудными и временными преобразованиями. Это значит, что амплитуда и длительность посылок отличаются от номинальных.

Искажения, вследствие воздействия помех вызывают не только временные и амплитудные преобладания, с которыми легко бороться путем выбора уровней ограничения Е1 и Е2, но и дробление посылок.

Следует отметить, что допустимые временные преобладания при синхронной работе составляют до 50 % от длительности сигнала теоретически и 40 % практически, а при стартстопном 25 % и 17 % соответственно, т.е. синхронный способ обладает очевидным преимуществом.

В простейшем случае символы в телеграфии и при передаче данных имеют строго фиксированную длительность, а в фототелеграфных системах длительность посылок произвольна и зависит от вида изображения.

Для передачи обычно используют АМн, ЧМн, ФМн (ОФМн) по старой терминологии, когда они использовались только в телеграфии АТ, ЧТ, ФТ (ОФТ).

При манипуляции посылками постоянного тока сигналы записываются в виде:

$$S_{AM} = \frac{1}{2} U_C [1 + v(t)] \cos(\omega_0 t + \varphi_C);$$

$$S_{ЧМ}(t) = U_C \cos \left[\omega_0 t + \Delta\omega_d \int_0^t v(t) dt + \varphi_C \right]; \quad (2.5)$$

$$S_{ФМ}(t) = U_C \cos \left[\omega_0 t + \frac{\pi}{2} [1 + v(t)] + \varphi_C \right] = U_C v(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_C),$$

где $v(t) = \pm 1$ – посылки постоянного тока;

ω_0 – частота несущей;

φ_C – начальная фаза;

$\Delta\omega_d$ – девиация частоты.

Если манипуляция осуществляется периодической последовательностью двухполярных посылок, то спектр становится дискретным. При АМн спектр имеет вид, представленный на рис. 2.7,а штриховыми линиями.

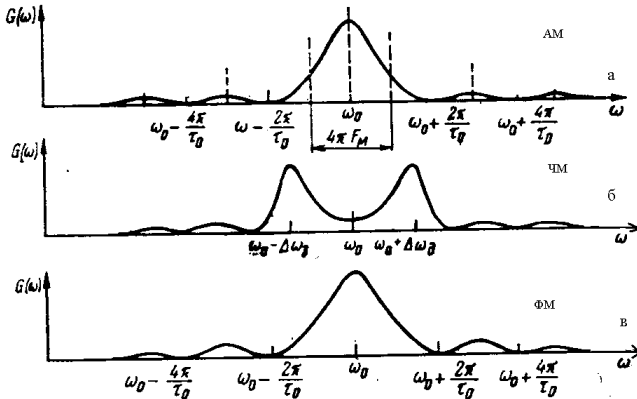


Рис. 2.7

Из рассмотрения рис. 2.7 следует, что полоса ВЧ тракта приемника АМн-сигналов не может быть менее $2F_m$.

С целью снижения межсимвольных искажений полосу расширяют в k раз, где $k = 2-3$. Наряду с этим учитывается суммарная нестабильность частот РПУ и гетеродина РПРУ $-\Delta f_n$, тогда

$$\Pi_{AM} = 2kF_M + \Delta f_n. \quad (2.6)$$

Спектр ФМн-сигналов (рис. 2.7,в) отличается от спектра АМн-сигналов только отсутствием несущей, поэтому для ФМн справедлива формула (2.6).

При частотной манипуляции (ЧМн) (рис. 2.7,б) необходимо дополнительно учитывать величину разноса Δf_p между частотами “нажатия” и “отжатия”:

$$f_1 = f_c + \Delta f_d, \quad f_2 = f_c - \Delta f_d; \Delta f_p = 2\Delta f_d,$$

тогда

$$П_{чм} = 2kF_M + 2\Delta f_d + \Delta f_H.$$

Сигналы частотной манипуляции применяют наиболее широко ввиду ряда их очевидных преимуществ: высокая помехоустойчивость, простота демодулятора. Высокая эффективность в каналах с замираниями, так как частота при замираниях меняется значительно меньше, чем амплитуда.

Структурная схема РПрУ двоичных сигналов с ЧМн приведена на рис. 2.8.

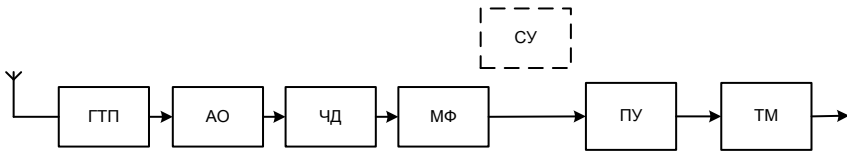


Рис. 2.8

Основное отличие схемы – наличие амплитудного ограничителя АО и частотного детектора ЧД вместо амплитудного детектора. АО стабилизирует амплитуду и повышает помехоустойчивость. Порог в ПУ обычно нулевой $E_n = 0$, так как сигналы симметричные.

На практике чаще применяют некогерентные способы приема, отличающиеся меньшей помехоустойчивостью, но большей живучестью. Различают прием по огибающей и по мгновенной частоте, а также широкополосный прием с интегрированием после детектора.

Для приема по огибающей используют фильтровые схемы ЧД на расстроенных ПФ. При приеме по мгновенной частоте применяют ЧД с линейной частотной характеристикой.

В случае приема по огибающей полосы фильтров ПФ1 и ПФ2 обычно не перекрываются или перекрываются мало.

В отличие от АМ сигнал на выходе ЧД представляет собой двухполярные послылки постоянного тока, поэтому оптимальный по-

рог $E_n = 0$ не требует подстройки при изменении отношения сигнал/шум. При расстройке несущей частоты сигнала относительно f_0 наблюдаются амплитудные преобладания посылок одного знака. Это снижает помехоустойчивость, поэтому в случае приема по мгновенной частоте, после МФ включает симметрирующее устройство СУ.

Последнее время распространение получают системы с МЧТ (многократной ЧТ), и в частности с ДЧТ. Это четырехчастотная система, где каждому из 4-х сочетаний посылок 2-х каналов ставится в соответствие частота.

Таблица 2.2

1 канал	-1	-1	+1	+1
2 канал	-1	+1	-1	+1
Частота	f_1	f_2	f_3	f_4

Временная диаграмма сигналов и частот в системе ДЧТ имеет вид, представленный на рис. 2.9.

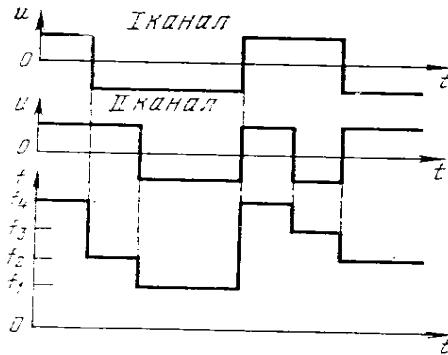


Рис. 2.9

Схема РПрУ сигналов ДЧТ включает в себя 4 фильтра и декодер состояний. Система ДЧТ относится к многоканальным и ей присущи межканальные помехи. Например, при смене частот от f_2 к f_4 частота сигнала проходит через значение f_3 , что приводит к возбуждению этого канала и выработке в нем кратковременного отрицательного импульса (в канале 2).

Другой вид искажений возникает при асинхронной работе каналов, когда границы посылок в них по времени не совпадают. Это может привести к уменьшению длительности нахождения частоты сигнала в полосе пропускания каждого из фильтров. Если полоса рассчитана на пропускание посылок сигнала с минимальной длительностью τ_0 , то при импульсах меньшей длительности амплитуда на фильтрах не достигнет своего максимального значения, что приведет к временным преобразованиям и снижению помехоустойчивости.

2.4. Прием сигналов с частотной манипуляцией

Помехоустойчивость приема сигналов с частотной манипуляцией оценивается вероятностью ошибки $P_{\text{ош}}$, которая при заданном виде манипуляции зависит от способа приема, отношения сигнал / шум и вида помех. Рассмотрим случай флуктуационных помех.

Прием сигналов с ЧТ (ортогональных) может быть некогерентным и когерентным. Некогерентный прием применяется чаще, даже в случаях, когда фаза принимаемого сигнала не флуктуирует.

Вероятность ошибки при оптимальном некогерентном приеме, когда вместо полосовых фильтров ПФ применены согласованные, определится выражением

$$P = \frac{1}{2} e^{-\frac{h^2}{2}}, \quad (2.7)$$

$$\text{где } h^2 = \frac{P_c}{P_\phi} \Delta f T = q^2 \Delta f T.$$

Энергетический выигрыш от применения когерентного приема обычно не снижает затрат на систему точной подстройки фазы в РПрУ. Энергетический проигрыш некогерентного приема тем меньше, чем выше требования к качеству приема.

К неоптимальным методам некогерентного приема относятся узкополосный прием ЧТ по огибающей и по мгновенной частоте. Вероятность ошибки при этих методах приема примерно одинакова и равна

$$P = \frac{1}{2} e^{-\frac{h^2}{4}}. \quad (2.8)$$

Сравнивая (2.7) и (2.8) видим, что эти методы проигрывают оптимальному по мощности примерно в 2 раза (3дБ).

Требования к стабильности частоты при узкополосном приеме можно снизить применением широкополосных фильтров, тогда помехоустойчивость снижается. Для ее увеличения применяют интегрирование после детектора (при знании моментов отсчета) или фильтрованию по низкой частоте (рис. 2.10).

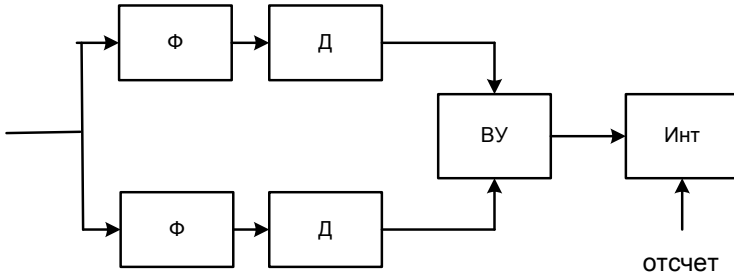


Рис. 2.10

Вероятность ошибки в схеме с ФНЧ после детектора зависит от типа фильтров Φ :

$$P = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi \left(\frac{h}{\sqrt{2 + \frac{\beta \Delta f T}{h^2}}} \right) \right], \quad (2.9)$$

где $\beta = 1$ для одиночного колебательного контура,

$\beta = 2$ для Π – образного фильтра,

$1 \leq \beta \leq 2$ – для остальных фильтров.

В случае, когда $h^2 \gg \Delta f_t$:

$$P \approx \frac{1}{2} \left[1 - \Phi \left(\frac{h}{\sqrt{2}} \right) \right]. \quad (2.10)$$

Формулы (2.10) и (2.11) соответствуют применению квадратичного детектора. При $h^2 \gg \Delta f_t$ энергетический проигрыш оптимальному некогерентному приему 3 дБ, однако в этих условиях применение линейного детектора дает лучшие результаты.

Зависимости вероятности ошибочного приема при различных условиях приведены на рис. 2.11,

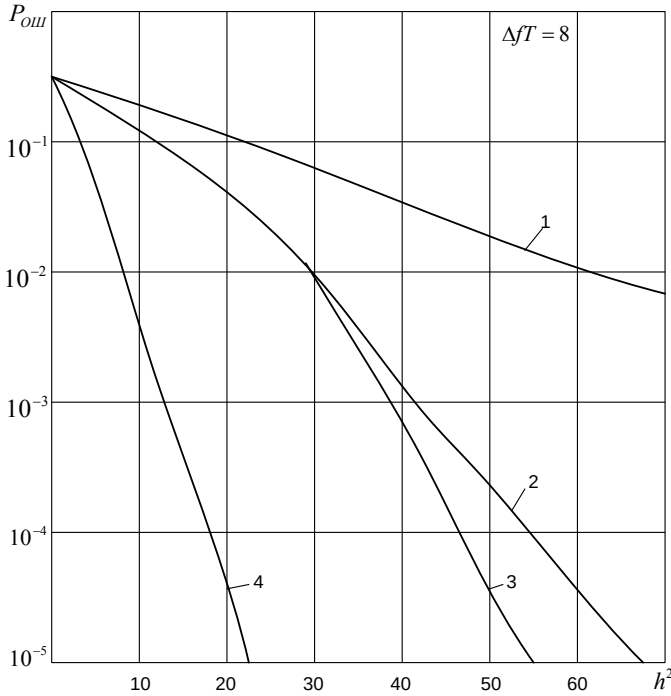


Рис. 2.11

где

1 – обычный широкополосный прием $\Delta f T = 8$;

2 – широкополосный прием при $\Delta f T = 8$ с помощью ЧД с обратными связями;

3 – широкополосный прием при $\Delta f T = 8$ с линейными детекторами, Π -образными полосовыми фильтрами и ФНЧ после детекторов;

4 – оптимальный некогерентный прием:

$$P = \frac{1}{2} e^{-\frac{h^2}{2\Delta f T}}, \quad (2.11)$$

то есть мощность теряется в $\Delta f T$ раз.

При линейном детектировании и одиночном контуре

$$P \approx \frac{1}{2} [1 - \Phi(1,39h - 1,24\sqrt{\Delta fT})]. \quad (2.12)$$

При П-образном фильтре

$$P \approx \frac{1}{2} [1 - \Phi(1,22h - 1,1\sqrt{\Delta fT})].$$

При отсутствии информации о моментах отсчета операция интегрирования не применима и используют ФНЧ, получая энергетический проигрыш 2 – 4 дБ.

2.5. Прием сигналов с ФМ и ОФМ

Эти сигналы реализуют наибольшую помехоустойчивость. На рис. 2.12 представлена структурная схема демодулятора сигналов ФМ,

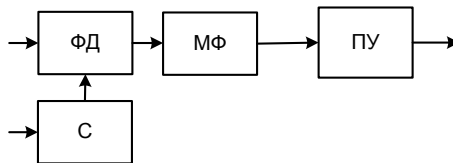


Рис. 2.12

где С – устройство синхронизации,
 МФ – манипуляционный фильтр,
 ПУ – пороговое устройство.

В таких РПрУ к когерентности (синфазности) опорного колебания предъявляют жесткие требования. В РПрУ ФМ опорное колебание формируется при помощи специального сигнала, передающего информацию о фазе. Для этого надо дополнительно затрачивать мощность сигнала и усложнять систему. Методы формирования опорного колебания из сигнала не дали положительного результата, так как им всем присущ недостаток – перескок фазы опорного колебания. Для устранения его применяют специальное кодирование.

Один из видов кодирования – применение относительного метода передачи – ОФМ (ОФТ), предложенного Н.Т. Петровичем. Знак посылки в этом случае определяется на основании сравнения фаз предыдущего и последующего элементов сигнала.

Схему, приведенную рис. 2.13, называют автокорреляционной (метод сравнения фаз),

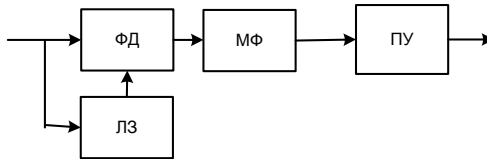


Рис. 2.13

где ЛЗ – длительность задержки сигнала τ_0 .

Структурная схема когерентного демодулятора сигналов ОФМ представлена на рис. 2.14.

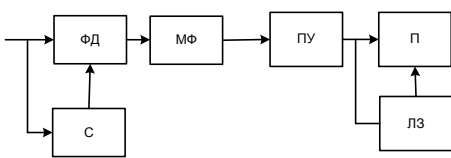


Рис. 2.14

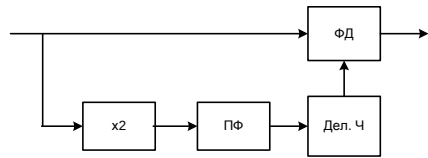


Рис. 2.15

Сигнал детектируется как и при ФМ, и после манипуляционного фильтра и порогового устройства поступает в устройство из цепи задержки и перемножителя посылок постоянного тока П.

Если посылки имеют одинаковую полярность фиксируется один символ, а если разную – другой. Информация о принятом сигнале получается путем сравнения полярности соседних посылок. Поэтому такой когерентный метод приема называют тоже методом сравнения полярности.

В устройстве, изображенном на рис. 2.14, опорное колебание формируется системой синхронизации С из принимаемого сигнала. Очевидно перескоки фазы, имеющие место в работе схемы синхронизации, в данном случае не столь опасны, так как такой перескок приводит не к обратной работе вплоть до нового перескока, а вызывает только искажение одного символа. В правильно спроектированной системе скачки происходят редко и помехоустойчивость снижается незначительно.

Устройство формирования опорного колебания является самым ответственным узлом, от которого в основном зависит качество коге-

рентного приема сигналов ОФМ. Оно выполняет две функции – устраняет манипуляцию с принятым сигналом и осуществляет его фильтрацию на фоне помех.

Существует большое число схем. Простейшая схема Пистолькорса имеет вид, приведенный на рис. 2.15.

Манипуляция сигнала по фазе устранена умножением частоты на 2. Далее фильтрация на двойной частоте $2\omega_c$. Затем деление частоты на 2. Фильтр ПФ для хорошего подавления помех должен быть узкополосным. Однако узкополосность ПФ сопряжена с высокой крутизной фазовой характеристики, что при уходе частоты от номинальной приводит к фазовой расстройке опорного колебания.

Схема Сифорова (рис. 2.16) позволяет достичь улучшения параметров при использовании в качестве ПФ системы ФАПЧ.

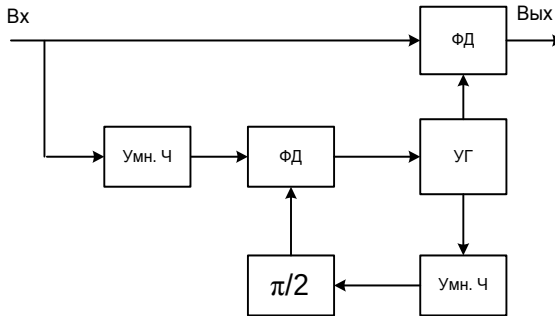


Рис. 2.16

Манипуляция в этой схеме устраняется умножением частоты. Система ФАПЧ работает здесь на частоте $2\omega_c$. Достоинство схемы – замена делителя частоты более простым удвоителем. Однако обратная работа в этой схеме также не устраняется.

Принципиально иной способ устранения фазовой манипуляции используется в устройствах с обратной манипуляцией – схемы Костаса (рис. 2.17) и Травина (рис. 2.18).

В этих схемах также используются системы ФАПЧ. На вход схемы ФАПЧ (рис. 2.17) поступает входной сигнал. На входы перемножителя в этом случае подается сигнал с выхода основного ФД и с ФД системы ФАПЧ. В этом случае затрудняется их развязка по постоянному току. В перемножителе осуществляется обратная манипуляция

сигнала, позволяющая сформировать немодулированное колебание, которое фильтруется затем системой ФАПЧ.

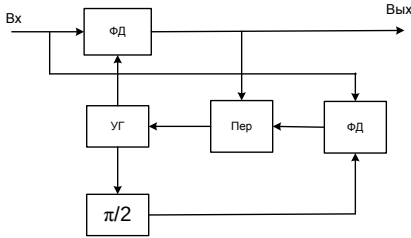


Рис. 2.17

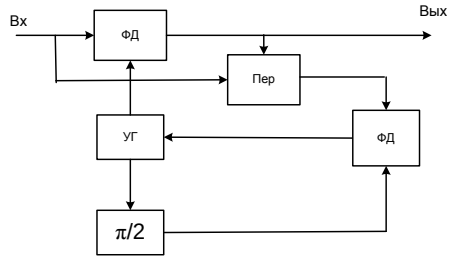


Рис. 2.18

В схеме Травина (рис. 2.18) в перемножителе происходит перемножение по ВЧ, поэтому в качестве перемножителя может применяться обычный балансный модулятор.

Поведение всех устройств формирования опорного колебания, основанных на использовании ФАПЧ, описывается одним и тем же дифференциальным уравнением, поэтому с точки зрения помехоустойчивости все они примерно одинаковы.

Однако системы с обратной модуляцией обладают дополнительными возможностями повышения помехоустойчивости за счет последетекторной обработки сигнала U_m , используемого для устранения манипуляции.

Если фаза сигнала не меняется или изменяется очень медленно, то влияние нуля можно ослабить усреднением результатов измерений за большое время. Наличие времени измерения приведет к погрешности в оценке. В таком случае при приеме *противоположных* сигналов (фазовая манипуляция на 180°) ошибка определяется выражением:

$$P = \frac{1}{2} [1 - \Phi(\sqrt{2}h)].$$

Для сравнения при когерентном приеме *ортогональных* сигналов.

$$P = \frac{1}{2} [1 - \Phi(h)]$$

т.е. энергетический выигрыш около 3 дБ.

При когерентном приеме сигналов ОФТ (методом сравнения):

$$P = \frac{1}{2} [1 - \Phi^2(\sqrt{2}h)].$$

К этой предельной ошибке стоит добавить ошибки от перескока фазы опорного напряжения, но ее трудно оценить, так как она зависит от многих факторов и, в частности, от вида схемы выработки опорного напряжения.

Обычно этот метод приема называют квазигогерентным.

Схема с согласованными фильтрами (квадратурная схема), приведенная на рис. 2.19, реализует оптимальный некогерентный прием сигналов с ОФТ.

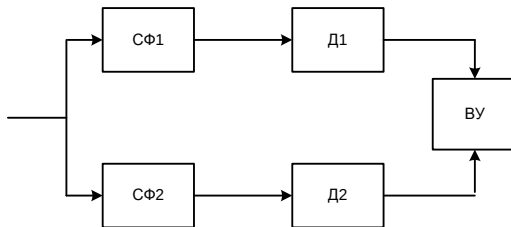


Рис. 2.19

Схема с СФ на практике обычно не применяется, так как создать согласованные фильтры достаточно сложно.

При некогерентном неоптимальном приеме, например, по схеме, приведенной на рис. 2.20, называемой схемой сравнения фаз или автокорреляционной, помехоустойчивость вычисляют по формуле

$$P = \frac{1}{2} e^{-\frac{h^2}{\Delta f T}}.$$

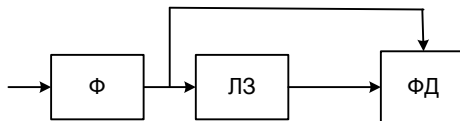


Рис. 2.20

Помехоустойчивость определяется степенью согласованности фильтра и может быть повышена применением интегратора или ФНЧ после детектора как и в схемах широкополосного приема ЧТ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радиоприемные устройства: Учебник для вузов/ Буга Н.Н., Головин О.В., Плаксиенко В.С., Фомин Н.Н. и др./ Под ред. Н.Н. Фомина. М.: Радио и связь, 2003. – 520 с.
2. Плаксиенко В.С. Устройства приема и обработки сигналов. Учебное пособие. Ч.1 Таганрог: Изд-во ТРТУ 1999. – 108 с.
3. Плаксиенко В.С. Устройства приема и обработки сигналов: Учебное пособие. Ч. 2. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. – 112 с.
4. Плаксиенко В.С., Плаксиенко Н.Е. Устройства приема и обработки сигналов: Учебное пособие: Ч. 3. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2001. – 52 с.
5. Плаксиенко В.С., Плаксиенко С.В. Устройства приема и обработки сигналов: Учебное пособие: Ч. 4. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. – 60 с.
6. Плаксиенко В.С., Плаксиенко Н.Е. Устройства приема и обработки сигналов: Учебное пособие: Ч. 5. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2003. – 52 с.
7. Что такое RDS? // Журнал «Радио», 1996. – № 7. – С. 55, 56.
8. Мелешко И., Приёмник сигналов RDS // Журнал «Радио», 1999. – № 7. – С. 20, 21, № 8. – С. 35, 36.
9. Мелешко И., RDS – структура сигнала // Журнал «Радио», 2000. – № 10. – С. 18, 19, 27.
10. Мелешко И., Приёмник сигналов RDS // Журнал «Радио», 1999. – № 8. – С. 35, 36.
11. Горегляд В. Д. Радиовещание и передача данных по технологии RDS // Журнал «Связь и сетевые решения» – №16.
12. Архив журнала "625" : 1999 6#4.
13. Щербина В. Распространение дополнительной информации средствами радиовещания Журнал "BROADCASTING": – №4, 2000.
14. Щербина В. Дополнительная вещательная служба – радиовещание данных. – Техника кино и телевидения, 1999, – № 5. С. 13 – 18.
15. R(B)DS systems. – Радиолюбительская технология, 1998. – № 4/5. С. 38 – 41.
16. Щербина В. Распространение дополнительной информации средствами радиовещания. – "625", 1999. – № 4. С. 60 – 65.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Системы радиовещания данных	3
1.1. История развития	3
1.2. Система передачи данных RDS	6
1.3. Системы RBDS и DARC	30
1.4. Система FMX	35
1.5. Применение системы RDS в России	39
2. Прием дискретных радиосигналов	42
2.1. Искажения и полоса пропускания при приеме дискретных сигналов	42
2.2. РПРУ сигналов с КИМ	46
2.3. Прием дискретных радиосигналов	47
2.4. Прием сигналов с частотной манипуляцией	54
2.5. Прием сигналов с ФМ и ОФМ	57
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	62
ОГЛАВЛЕНИЕ	63

**Галустов Геннадий Григорьевич,
Плаксиенко Владимир Сергеевич,
Плаксиенко Нина Евгеньевна**

Учебное пособие
Устройства приема и обработки сигналов
Часть 6

Ответственный за выпуск Плаксиенко В.С.

Редактор Чиканенко Л.В.
Корректор

Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Усл. п.л. – 4,0 . Уч.-изд. л. 3,9.
Тираж 50 экз.
Заказ № “С”

Издательство Технологического института
Южного федерального университета
ГСП 17А, Таганрог, 25, Некрасовский, 44

Типография Технологического института
Южного федерального университета
ГСП 17А, Таганрог, 28, Энгельса, 1