**Введение**

Для всех РТМС характерна многоканальная передача. Число уплотняемых каналов в современных РТМС достигает 100-10000. при этом применяются различные виды операций уплотнения и разделения каналов, а также различные процедуры организации этих операций. На выбор метода разделения каналов влияет:

* число уплотняемых каналов;
* скорость передачи информации;
* требования к помехоустойчивости и скрытности передаваемой информации;
* условия использования многоканальной системы;
* возможности унификации и стандартизации аппаратуры.

**1 Классификация методов разделения каналов**

Все используемые методы разделения каналов можно классифицировать на линейные и нелинейные (рисунок 1).



Рисунок 1

К линейным относятся методы, при которых операции разделения осуществляются линейными устройствами. Для осуществления линейного разделения каналов необходимо и достаточно, чтобы канальные сигналы составляли ансамбль линейно независимых сигналов. В качестве таких сигналов часто используют ансамбль ортогональных сигналов. Обычно используют следующие линейные методы разделения каналов: частотное разделение каналов - ЧРК, временное разделение каналов - ВРК, разделение каналов по форме - РКФ. Для пояснения принципа линейного разделения каналов рассмотрим структурную схему многоканальной системы (рисунок 2).



Рисунок 2

Первичные сигналы с выхода аппаратуры обработки информации АОИ поступают на канальные модуляторы (КМ), где преобразуются в канальные сигналы .



, ( 1)



где - оператор, осуществляющий взаимное однозначное преобразование.



Для образования группового сигнала все N канальных сигналов складываются:

. ( 2)



В передатчике этот сигнал преобразует в высокочастотное колебание:

, ( 3)



где M – оператор преобразования.

Передатчик (ПрД), приемник (ПрМ), линия связи (ЛС) образуют канал связи (КС). На входе приемника принимается сигнал:

, ( 4)



где - мультипликативные и аддитивные помехи. В приемнике (ПрМ) происходит обратное преобразование сигнала:



. ( 5)



Действие канального селектора характеризуется оператором . Процесс разделения каналов можно представить следующим образом:



. ( 6)



Т.е. l-ый селектор реагирует лишь на сигнал и не реагирует на сигналы других каналов. В демодуляторах (Д) происходит обратное преобразование канального сигнала в сообщение . Необходимым условием нормальной работы многоканальной системы является взаимное однозначное преобразование, осуществляемое операторами .



При ВРК канальные сигналы представляют собой последовательности прямоугольных импульсов, не пересекающихся во времени.

При ЧРК канальные сигналы представляют собой гармонические колебания с не перекрывающимися частотными спектрами.

При РКФ канальные сигналы перекрываются по времени и частоте, оставаясь ортогональными за счет их формы.

Известно большое число нелинейных методов уплотнения и разделения каналов. В некоторых случаях при нелинейном уплотнении возможно использование линейного разделения каналов. Например, если операция уплотнения состоит в перемножении канальных сигналов:

, ( 7)



причем канальные сигналы обладают тем свойством, что их логарифмы образуют ансамбль линейно независимых сигналов. То путем логарифмирования группового сигнала, т.е. его нелинейной обработкой можно привести задачу нелинейного разделения к известной задаче линейного разделения.

. ( 8)



Из нелинейных методов уплотнения в настоящее время используется логическое (мажоритарное) уплотнение, имеющее ряд достоинств по сравнению с другими методами. К достоинствам мажоритарного уплотнения относятся:

1. Отсутствие буферной памяти, необходимой для согласования потока информации с пропускающей способностью канала связи.
2. Отсутствие при передаче служебной (адресной) информации.
3. Информационная скрытность.

**2 Условия линейной разделимости сигналов**

Для линейной разделимости каналов необходимо, чтобы с помощью оператора выполнялась следующая операция:



( 9)



При этом сигналы должны удовлетворять определенным условиям. Пусть - множество канальных сигналов к-го канала. Назовем - линейно разделимыми множествами, если для них справедливо выражение ( 9).



Теорема: Для того, чтобы множества были линейно разделимыми, необходимо и достаточно, чтобы они удовлетворяли условию линейной независимости. Условием линейной независимости сигналов (функций) определенных на отрезке является невозможность тождества:



( 10)



при любых значениях коэффициентов ,,…,, кроме случая . Если окажется, что можно подобрать коэффициенты ,,…,, при которых удовлетворяется соотношение ( 10), то сигналы станут линейно зависимыми и неразделимыми. К линейно независимым сигналам относятся сигналы вида:



( 11)



где и - вещественные числа. В общем случае критерий линейной независимости функций , определенных на интервале дается теоремой Грама: Для того, чтобы функции были линейно независимыми, необходимо и достаточно, чтобы был отличен от нуля определитель матрицы , элементы которой определяются соотношением:



. ( 12)



Т.е. условие линейной независимости функций можно записать в следующей форме:

, ( 13)



где G – определитель Грама. Определитель Грама всегда не равен нулю для ортогональных функций, которые удовлетворяют условию:

( 14)



где - весовая функция. Согласно теории функции действительного переменного систему линейно независимых функций можно свести к некоторой ортогональной системе функций. Использование как правило в качестве канальных сигналов системы ортогональных функций связано с тем обстоятельством, что разделение этих сигналов осуществляется без ухудшения отношения сигнал - шум.



**3 Разделение сигнала по форме**

При разделении сигналов по форме базисные функции должны быть линейно независимыми и ортогональными. При этом передаваемая информация заключается в амплитуде базисных функций. В случае разделения по форме канальный сигнал имеет вид:



, ( 15)



где - период канального сигнала, - отсчеты первичного сигнала.



Выражение справедливо в случае, когда информация заключена в амплитуде сигнала. В качестве базиса используются функции, удобные с точки зрения технической реализации. В частности полиномы Лежандра, Матье и др. При использовании полиномов Лежандра отдельные базисные функции равны:

( 16)



Условие ортогональности в этом случае имеет вид:

( 17)



Т.о., средняя мощность каждого ортогонального колебания равна (). Для того чтобы выровнять мощность канальных сигналов на передающей стороне каждую базисную функцию умножают на .



При использовании нечетных полиномов в сигнале появляются скачки, для передачи которых потребуется широкая полоса радиоканала (рисунок 3).



Рисунок 3

Для устранения этого недостатка в передаваемом сигнале у нечетных полиномов через период изменяют полярность (рисунок 4).



Рисунок 4

Рассмотрим структурную схему передающей части системы с ортогональными сигналами (рисунок 5).



Рисунок 5

где СМУ – суммарно-масштабирующий усилитель, ГПФ – генератор полиномиальных функций, ГТЧ – генератор тактовой частоты, ГНК – генератор несущего колебания, К – ключ, С – синхронизатор.

Первичный сигнал - непрерывная функция времени. ГТЧ формирует кратковременный импульс с частотой . Ключ К хранит значение отсчетов за весь период, а синхронизатор формирует синхросигнал.



Тогда групповой будет сигнал представлен в следующем виде:

, , ( 18)



Для разделения канальных сигналов используют свойство их ортогональности. Эта операция сводится к вычислению скалярного произведения группового сигнала на базисную функцию выделяемого канала

( 19)



Структурная схема приемной части системы приведена на рисунке 6.



Рисунок 6

Ортогональные полиномы Лежандра, Чебышева и т.д. являются непрерывными аналоговыми сигналами и, следовательно, устройствам их генерирования и обработки свойственны недостатки присущие всем аналоговым устройствам:

* невозможность унификации и стандартизации большинства устройств;
* высокие требования к температурной стабильности;
* сложность технической реализации генераторов полиномиальных функций.

Поэтому в настоящее время в качестве канальных сигналов используются различные типы цифровых сигналов, в частности ансамбль функций Уолша.

**4 Частотное разделение каналов (ЧРК)**

ЧРК – частный случай разделения ортогональных сигналов. Базисные функции ортогональны в частотной области. Вид базисных функций:

, ( 20)



где - поднесущая частота.



Колебания ( 19) будут оставаться ортогональными при любых значениях параметров , и , если частотные спектры канальных сигналов не перекрываются.



Спектр группового сигнала показан на рисунке 7.



Рисунок 7

Для лучшего разделения каналов между спектрами канальных сигналов вводят защитный интервал . Общая ширина спектра группового сигнала :



. ( 21)



Ширина спектра зависит от вида модуляции и ширины спектра первичного сигнала.



, ( 22)



где - ширина спектра первичного сигнала,



- коэффициент, зависящий от вида модуляции, для амплитудной модуляции (АМ) .



Для частотной (ЧМ) и фазовой (ФМ) модуляции зависит от девиации частоты и индекса модуляции.



Основным недостатком системы с ЧРК является то, что с ростом числа каналов возрастает ширина спектра группового сигнала. При ЧРК сообщения можно передавать амплитудной, частотной и фазовой модуляцией. Модуляция осуществляется непрерывно при передаче всего сообщения. Обычно используют две ступени модуляции. В первой ступени каждая поднесущая может быть промодулирована по амплитуде, частоте или фазе. Возможна одновременная модуляция поднесущей по амплитуде и частоте. Эта операция удваивает число каналов без существенного расширения полосы частот тракта, но создает значительные взаимные помехи. Кроме того, можно увеличить общее число каналов, применяя однополосную модуляцию с полным подавлением одной боковой и поднесущей. Сумма модулируемых поднесущих модулирует несущую частоту передатчика по амплитуде, фазе и частоте во второй ступени модуляции. Возможны различные комбинации способов модуляции поднесущих частот и несущих колебаний:

АМ – АМ; АМ – ЧМ; ОБП – ЧМ; АМ – ОБП; ИКМ – ЧМ – ЧМ

Выбор определенного варианта построения системы с ЧРК зависти от требований к эффективности и помехоустойчивости.

Структура передающей части системы с ЧРК приведена на рисунке 8,



Рисунок 8

где ПР – преобразователь, КМ – канальный модулятор, ГНК – генератор несущего колебания, ПФ – полосовой фильтр.

Перенос спектров осуществляет КМ, а ПФ пропускают все спектральные компоненты модулированного сообщения и задерживают их гармоники. Гармоники возникают из-за нелинейности модуляционной характеристики КМ. После сумматора сигнал подается на модулятор передатчика, где происходит модуляция несущей. На первой ступени осуществляется модуляция канальных сигналов, а на второй модуляция несущей частоты. Сигнал, полученный на приемной стороне, поступает на общий демодулятор, а затем на систему из N фильтров (рисунок 9).



Рисунок 9

Амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) фильтров аналогичны АЧХ фильтров, используемых на передающей стороне. После фильтров включены канальные демодуляторы (КД).

**5 Временное разделение каналов**

При временном разделении каналов (ВРК) сигналы, принадлежащие отдельным каналам, не перекрываются по времени. Импульс i-го канала группового сигнала может находиться только в i-м интервале времени (рисунок 10). Такие сигналы ортогональны независимо от формы импульсов, если только временное положение этих импульсов находится в пределах своего канального интервала. Частота переключения каналов выбирается так, чтобы для всех возможных реализаций сообщений удовлетворялся заданный показатель верности. Для выделения канального сигнала на приемной стороне используются базисные функции и .



Рисунок 10

Такие функции ортогональны:

( 23)



Для разделения каналов при ВРК необходимо производить следующие операции:

( 24)



При ВРК необходима многоступенчатая модуляция, минимальное число ступеней которой равняется двум. В первой ступени какой – либо параметр периодической последовательности видеоимпульсов моделируется сообщением . Число канальных импульсов равняется числу каналов. Определим периодическую последовательность импульсов следующим образом:



, ( 25)



где - функция, характеризующая форму импульсов, - амплитуда импульсов,



, ( 26)



определяют начало переднего фронта k-го импульса, , - период следования импульсов, - начало отсчета последовательности, - сдвиг k-го импульса относительно момента времени , - длительность k-го импульса.



В первой ступени часто применяют следующие виды параметрической модуляции:

( 27)



Возможна комбинированная модуляция, при которой одновременно меняются несколько параметров (АИМ-ШИМ, АИМ-ВИМ).

Применяют такие виды непараметрической модуляции, как КИМ,- модуляция.



Во второй ступени параметр синусоидального колебания высокой частоты модулируется суммой канальных импульсов. Обычно используется амплитудная, фазовая, частотная модуляция. В названии системы с ВРК первые буквы определяют вид модулированной последовательности импульсов, а последние – способ модуляции несущей суммы канальных импульсов (ШИМ-ЧМ, АИМ-АМ).

Рассмотрим структурную схему передающей части системы с ВРК (рисунок 11):



Рисунок 11

ГТИ вырабатывают последовательность импульсов с частотой . Построим эпюры в указанных точках (рисунок 12). Для синхронизации устройства разделения используют нулевой или канал. В устройстве формирования синхроимпульса (УФСИ) эти импульсы кодируются. Синхроимпульсы должны отличаться по форме от канального импульса. Первая ступень модуляции реализуется в канальном модуляторе (КМ), на который поступает первичный сигнал и периодическая последовательность канальных импульсов (в). Промодулированные в каждом канале импульсы складываются в сумматоре . Вторая ступень модуляции осуществляется в модуляторе (М) передатчика (ПрД).



Рисунок 12

На приемной стороне системы с ВРК принятое колебание усиливается в приемнике (ПрМ) и демодулируется (ДМ) (рисунок 13).



Рисунок 13

Далее последовательность импульсов поступает на селектор синхроимпульсов ССИ и на N-ый вход временных селекторов (ВС). Простейшая схема ССИ имеет вид (рисунок 14).



Рисунок 14

Сигнал на схему «и» подается с двух отводов линии задержки (ЛЗ). Задержка осуществляется на время . Сигнал со схемы ССИ используется для запуска генератора селекторных импульсов (ГСИ). Импульсы с ГСИ открывают ВСi соответствующего канала на время существования i-го канального импульса. Далее сигнал поступает на i-ый канальный демодулятор КД. Рассмотрим эпюры напряжения в различных точках схемы ( 15).



Рисунок 15

**6 Мажоритарное уплотнение каналов**

линейное разделение канал импульс

При мажоритарном уплотнении на входе устройства установлен АЦП. В результате такого уплотнения каждой комбинации двоичного кода с блоковой длиной N в параллельной форме, поступившей от N уплотняемых источников в устройстве уплотнения ставится в соответствие комбинация двоичного кода группового сигнала с блоковой длиной n < N , представленной в последовательном коде. При этом значение каждого двоичного символа кодируется комбинацией группового сигнала, определенного в соответствии с логической функцией абсолютного большинства, т.е. мажоритарно. Как и при ВРК нелинейность группового тракта не приводит в этом случае к появлению междуканальных помех. Кроме того двоичный код группового сигнала имеет минимально возможный пикфактор:

. ( 28)



При данном нелинейном методе уплотнения оказывается возможным линейное разделение каналов просто реализуемое на цифровом устройстве. Рассмотрим структурную схему устройств уплотнения N каналов (рисунок 16).



Рисунок 16

Моделирующие сообщения от N источников представленные двоичным кодом одновременно во всех каналах поступают на один из входов канального модулятора (КМ). В качестве КМ используется сумматор по модулю два. На другие входы КМ поступает канальный сигнал закрепленный за данным каналом. Канальный сигнал представляет собой комбинацию двоичного кода с блоковой длиной n, которая выбирается по формуле:

, ( 29)



где - вероятность ошибки на один информационный символ. Длительность двоичного символа канального сигнала выбирается равной , где T – длительность двоичного символа модулирующего сообщения (рисунок 17).



Рисунок 17



С выхода сумматора по модулю два в каждом канале в соответствии с операциями логического суммирования:

( 30)



имеем или выделенный данному каналу канальный сигнал:

, ( 31)



или его инверсию:

. ( 32)



Совокупность канальных сигналов и их инверсий одновременно поступает на мажоритарный элемент. На выходе мажоритарного элемента с тактовой частотой символов канального сигнала формируется двоичное кодовое слово по следующему правилу: i-ый разряд кода (i от 1 до n) равняется единице, если число единиц поступающих на мажоритарный элемент по всем N каналам в i-ый момент времени больше или равно N/2, и равен нулю в противном случае:

( 33)



Код, порождаемый данным кодером, будет блочным нелинейным несистематическим кодом.

Рассмотрим структурную схему устройства разделения (рисунок 18).



Рисунок 18

Устройство разделения каналов является линейным устройством. Кодированные символы группового сигнала поступают на набор из N канальных корреляторов, состоящих из сумматоров по модулю два и накопителей импульсов (Н). В качестве накопителей можно применять реверсивные счетчики. На один вход сумматора по модулю два поступают принимаемые символы группового сигнала, а на другой – символы соответствующего канального сигнала. По окончанию счета n cимволов решающее устройство определяет знак накопленной суммы. Если число единиц , то выносится решение о приеме информационного символа 1, и наоборот



( 34)



В качестве канального сигнала обычно используются двоичные ортогональные сигналы, например функции Уолша.

Недостаток мажоритарного уплотнения: даже при отсутствии шумов в канале связи будет ошибка, обусловленная методом уплотнения.

**Заключение**

Телекоммуникации являются одной из наиболее быстро развивающихся областей современной науки и техники. Жизнь современного общества уже невозможно представить без тех достижений, которые были сделаны в этой отрасли за немногим более ста лет развития. Отличительная особенность нашего времени - непрерывно возрастающая потребность в передаче потоков информации на большие расстояния. Это обусловлено многими причинами, и в первую очередь тем, что связь стала одним из самых мощных рычагов управления экономикой страны. Одновременно, претерпевая значительные изменения, становясь многосторонней и всеобъемлющей, электросвязь каждой страны становится все более интегрированной в мировое телекоммуникационное пространство.

**Список литературы:**

1. Кириллов С.Н., Виноградов О.Л., Лоцманов А.А. Алгоритмы адаптации цифровых фильтров в радиотехнических устройствах. Учебное пособие. Рязань. РГРТА, 2004. 80с.
2. Кириллов С.Н., Дмитриев В.Т. Алгоритмы защиты речевой информации в телекоммуникационных системах. Учебное пособие с грифом УМО. Рязань. РГРТА, 2005. 128с.
3. Радиотехнические методы передачи информации: Учебное пособие для вузов / В.А.Борисов, В.В.Калмыков, Я.М.Ковальчук и др.; Под ред. В.В.Калмыкова. М.: Радио и связь. 1990. 304с.
4. Системы радиосвязи: Учебник для вузов / Н.И.Калашников, Э.И.Крупицкий, И.Л.Дороднов, В.И.Носов; Под ред. Н.И.Калашникова. М.: Радио и связь. 1988. 352с.