

М 1344

**МИНИСТЕРСТВО ПО РАЗВИТИЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ ИМЕНИ МУХАММАДА АЛ-ХОРАЗМИ**

Факультет «Радио и мобильной связи»

Писецкий Ю.В., Хатамов А.П., Вотинов К.А., Файзуллаева Б.Б.

**Кафедра «Технологии
мобильной связи»**

Методическое пособие

по выполнению

практических работ

по дисциплине

«СПУТНИКОВАЯ СВЯЗЬ»

для студентов

по направлению

5350100 – «Телекоммуникационные технологии (Мобильные системы)»

Ташкент – 2022

Авторы: Писецкий Ю.В., Хатамов А.П., Вотинов К.А., Файзуллаева Б.Б.
Методическое пособие по выполнению практических работ по дисциплине
«Спутниковая связь» / ТУИТ. 2022 г.

Системы спутниковой связи находятся в процессе бурного развития. Изучение этих процессов, информированность в вопросах принципов построения спутниковых систем связи, весьма важны для стратегии их внедрения в нашей стране. В этой связи, данная работа будет весьма полезной при подготовке квалифицированных специалистов в области мобильной связи.

Данное методическое пособие посвящено изучению общих принципов организации систем спутниковой связи, организации спутниковой телевизионной передачи сигналов, бортовых ретрансляторов спутниковых систем передачи, организации многоствольной спутниковой связи, спутниковых систем связи ODYSSEY и ICO, принципов построения земных станций VSAT и принципов построения передающей части аппаратуры временного уплотнения каналов.

Методическое пособие рассчитано для использования в учебном процессе при подготовке специалистов по направлению бакалавриата: 5350100 - Телекоммуникационные технологии (мобильные системы).

Ташкентский университет информационных технологий
имени Мухаммада ал-Хоразми, 2022

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

ИЗУЧЕНИЕ ОБЩИХ ПРИНЦИПОВ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

1. Цель работы

Изучение принципов построения систем спутниковой связи, состава земных и космических станций.

2. Задание

1. Ознакомиться с принципом классификации космических и земных станций.
2. Ознакомиться с основными показателями земных и космических систем связи.
3. Рассчитать параметры ретранслятора ЗС.
4. Построить диаграмму уровней сигнала на пролете.
5. Составить отчет.

3. Содержание отчета

1. Назначение и цель работы.
2. Основные показатели земных и космических станций.
3. Упрощенная структурная схема приемного тракта одноствольной ЗС.
4. Результаты расчета параметров ретранслятора ЗС.
5. Построение диаграммы уровней сигнала на пролете.

4. Краткая теория

В состав любой ССС, несмотря на их различие, входит несколько одинаковых по назначению элементов:

- *космические станции (КС)*, представляющие собой ретрансляционное (приемопередающее) устройство, размещенное на искусственном спутнике Земли, с антеннами для приема и передачи радиосигналов и системами обеспечения: источниками энергоснабжения, системами ориентации антенн (на Землю) и солнечных батарей (на Солнце), системами коррекции положения ИСЗ на орбите, терморегулирования и т.д.;

- *земные станции (ЗС)* различного типа.

Рассмотрим подробнее типы ЗС.

Приемные ЗС распределительных системы (систем спутникового вещания) — самый простой тип станций, осуществляющих только прием телевизионных программ и (или) других циркулярных программ (рис. 1), например, звукового вещания, изображений газетных полос; обычно приемные ЗС для удешевления снабжают антенной малого размера, а число таких ЗС в системе велико.

Передающие ЗС системы спутникового вещания (ЗС фидерной линии, ЗС1 на рис. 1.1) — станции, осуществляющие передачу на участке Земли ИСЗ

циркулярных программ, подлежащих распределению по сети приемных станций; если передающая ЗС находится в пределах обслуживаемой зоны и на ней возможен прием сигналов, излучаемых ИСЗ этой системы, то такой прием обычно осуществляется для контроля качества, вещания; передающих станций в системе может быть несколько.

Приемопередающие ЗС ПСС (ЗС1, 2, 3 на рис. 1.1), работающие в сети дуплексной телефонной связи (в том числе с возможностью передачи по телефонным каналам или группам каналов других видов сообщений — телеграфных, данных, программ звукового вещания и пр.), а также в сети обмена телевизионными программами: такие станции часто бывают укомплектованы аппаратурой, позволяющей работать через несколько стволов одновременно; нередко приемопередающие станции телефонной системы являются также передающими или приемными станциями системы вещания; таковы многие ЗС «Орбита» (ЗС1, ЗС2 на рис. 1.1).

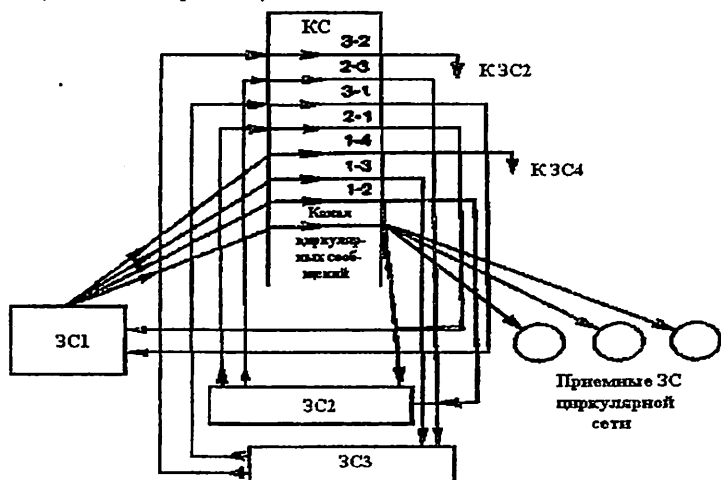


Рис. 1.1. Схема организации циркулярных и дуплексных каналов через ИСЗ

Контрольные ЗС — станции, контролирующие режим работы ретранслятора космической станции, соблюдение земными станциями сети важных для работы всей сети показателей — излучаемой мощности, частоты передачи, поляризации, качества модулирующего сигнала и т.п. Роль контрольных ЗС в поддержании нормальной работы системы велика. Часто функции контрольной станции возлагаются на одну из передающих или приемопередающих станций сети.

Контрольные и центральные станции сети обычно имеют возможность обмена информацией со станциями сети по специально создаваемой подсистеме служебной связи. Обычно удается образовать эту подсистему через тот же ИСЗ,

через который работает основная сеть, но в некоторых случаях приходится использовать наземные каналы служебной связи.

Земные станции системы управления и контроля ИСЗ — станции, осуществляющие управление функционированием КС и всеми другими подсистемами ИСЗ, контроль за их состоянием, выводом ИСЗ на орбиту при первоначальных испытаниях и вводе в эксплуатацию КС.

Соединительные наземные линии служат для соединения ЗС с источниками и потребителями передаваемой информации, поскольку ЗС обычно удалена от них из соображений уменьшения воздействия помех, углов закрытия антенны и др. Такими соединительными линиями от приемопередающей ЗС к междугородной телефонной станции (МТС) или другому узлу коммутации телефонной сети, от приемной ЗС к телевизионному передатчику, типографии, радиовещательной станции.

Выносное оборудование — та часть оборудования спутниковой связи, которая располагается не на станциях спутниковой связи, а на других объектах. Так, на МТС могут устанавливаться необходимые для работы спутниковых каналов эхо-заградители, иногда аппаратура уплотнения, каналаобразования и даже модуляции, причем выходной сигнал этой аппаратуры, пройдя по наземной соединительной линии (обычно радиорелейной), поступает непосредственно на ВЧ тракт спутниковой линии связи.

Центр управления системой связи — орган, осуществляющий руководство эксплуатацией системы и ее развитием, т.е. вводом в действие новых ЗС и ИСЗ, расписанием их работы, предоставлением стволов потребителям, проведением ремонтно-профилактических работ и т.п. Центр управления обычно соединяют со станциями сети каналами служебной связи. Иногда центр может совмещаться с передающей станцией системы спутникового вещания либо с контрольной ЗС.

4.1. Основные показатели земных станций

Диапазоны частот на прием и передачу, на работу в которых рассчитано оборудование станции — антенна, приемная и передающая аппаратура; большинство ЗС ФСС работает в диапазонах 4 или 11 ГГц на прием и 6 или 14 ГГц на передачу.

Добротность станции на прием G/T — отношение усиления антенны (в децибелах на частоте приема) к суммарной шумовой температуре станции (в децибелах относительно 1 К); достигает 42 дБ/К для самых больших применяемых на практике антенн (диаметром 32 м) и составляет 20...31,7 дБ/К для ЗС большинства национальных и региональных систем.

Эквивалентная изотропно излучаемая мощность (ЭИИМ) — произведение мощности передатчика, на усиление антенны (в полосе передачи) относительно изотропной антенны; обычно находится в пределах 50...95 дБВт. Для упрощенного расчета помех, создаваемых другим сетям связи, часто указывают максимальную спектральную плотность излучаемой ЗС ЭИИМ

(Вт/Гц), хотя точный расчет перекрестных помех требует знания структуры применяемых в системе сигналов (вида и параметров модуляции и т.п.).'

Диаметр антенны оказывает решающее влияние на размеры и стоимость ЗС; он определяет добротность и ЭИИМ станции, а также ее пространственную избирательность; если в системе используется разделение сигналов по поляризации, необходимо знать кроссполяризационные характеристики антенны и указывать, с какой поляризацией станция работает на передачу и на прием. На ЗС телефонного обмена применяют антенны диаметром от 1,5.. 2,5 м до 12 м, иногда до 32 м, на ЗС приема циркулярной информации — от 0,45 до 2,5...4 м.

Антенна характеризуется также показателями опорно-поворотного устройства и всей системы наведения антенны на ИСЗ; различают антенны *полноповоротные*, способные направляться в любую точку небосвода, и *неполноповоротные*, имеющие ограниченную область оперативного наведения на источник сигнала; системы наведения антенн характеризуются также возможной скоростью и ускорением углового перемещения. В последние годы все чаще применяют *неполноповоротные*, медленно движущиеся и неподвижные антенны, пригодные для работы только с геостационарными ИСЗ.

4.2. Основные показатели космических станций

В основном космическая станция характеризуется теми же показателями, что и ЗС: рабочим диапазоном частот, добротностью, ЭИИМ каждого передатчика, поляризацией излучаемых и принимаемых сигналов. Однако значения ряда параметров существенно отличны от указанных для ЗС. Например, добротность приемного тракта КС обычно составляет $-10 \dots +6$ дБ/К (что вызвано не только меньшими размерами антенны, но и применением более простого и обладающего большей шумовой температурой входного малошумящего усилителя), ЭИИМ, как правило, не превышает 23.. 45 дБВт, достигая 52.. 58 дБВт на спутниках непосредственного телевизионного вещания.

Важной характеристикой бортового ретранслятора космической станции является число стволов.

Стволом ретранслятора или ЗС. или *стволом спутниковой связи*, будем называть приемопередающий тракт, в котором радиосигналы проходят через общие усилительные элементы (общий передатчик) в некоторой выделенной стволу общей полосе частот. Весь диапазон частот, в котором работает спутник связи, принято делить на некоторые полосы (шириной 27...36, 72... 120 МГц), в которых усиление сигналов осуществляется отдельным трактом — стволом. Несколько стволов могут иметь общие элементы — антенну, волноводный тракт, малошумящий входной усилитель. С другой стороны, на ЗС полоса одного ствола может разделяться фильтрами для выделения и последующего детектирования сигналов от различных земных станций, проходящих через общий ствол ИСЗ.

Вместо термина «ствол» часто применяется английский термин «транспондер».

*Число ствол*ов, одновременно действующих на ИСЗ, может составлять 6–12, достигая 27–48 на наиболее мощных ИСЗ. Сигналы этих стволов разделяются по частоте, пространству, поляризации. Числом стволов, их полосой пропускания и ЭИИМ определяется в основном важнейший суммарный показатель ИСЗ — его *пропускная способность*, т.е. число телефонных и телевизионных каналов, либо в более общем виде число двоичных единиц в секунду, которое можно передать через данный ИСЗ. Разумеется, о пропускной способности ИСЗ можно говорить лишь условно, поскольку она зависит от добротности применяемых в системе земных станций, а также от вида применяемых радиосигналов; пропускная способность, по существу, характеристика системы, а не ИСЗ. Тем не менее, в литературе часто используется понятие пропускной способности (емкости) ИСЗ.

Отметим, что пропускная способность ствола ИСЗ зависит в некоторой степени не только от основных показателей — полосы пропускания и ЭИИМ, но и от других параметров, определяющих искажения передаваемых сигналов: *неравномерности амплитудной характеристики, коэффициента АМ – ФМ преобразования, неравномерности ГВЗ* в полосе ВЧ ствола и др. Эти параметры влияют на взаимные помехи между сигналами различных ЗС, на достоверность приема сигналов и тем самым на энергетические потери, обусловленные прохождением сигналов через неидеальный тракт бортового ретранслятора ИСЗ.

В зависимости от ширины диаграммы направленности бортовых антенн ИСЗ (или его отдельный ствол, если на борту несколько антенн и они различны) характеризуется *зоной покрытия* — частью поверхности земного шара, в пределах которой обеспечивается уровень сигналов от ИСЗ, необходимый для их приема с заданным качеством на ЗС определенной добротности, а также гарантируется способность принять на входе ИСЗ сигналы от ЗС, обладающих определенной ЭИИМ. Очевидно, что зона покрытия ИСЗ характеризует систему спутниковой связи, а не только собственно ИСЗ.

Зона покрытия определяется шириной диаграммы направленности антенны ИСЗ и рассчитывается как пересечение поверхности Земли конусом луча антенны. Форма этого сечения зависит от точки *размещения ИСЗ, «точки прицеливания»* — точки пересечения оси главного лепестка антенны ИСЗ с земной поверхностью, а также *от нестабильности положения ИСЗ и ориентации его антенн*. В связи с нестабильностью вводится понятие *гарантированной зоны обслуживания*, в которой обеспечивается сохранение указанных ранее условий приема и передачи при любых сочетаниях отклонений ИСЗ и антенны ИСЗ от среднего положения.

Точка размещения ИСЗ на орбите, точка прицеливания его антенны, нестабильности этих параметров существенны не только для расчета зон обслуживания, но и для расчета взаимных помех между ССС. Для упрощенного расчета взаимных помех часто также указывается максимальная *спектральная плотность излучаемого ИСЗ потока мощности* ($Вт/м^2 Гц$).

Наконец, важнейшим показателем ИСЗ, определяющим не только надежность и бесперебойность связи, но, прежде всего экономические характеристики всей системы связи, является срок службы ИСЗ — время наработки до отказа спутника целиком либо допустимого числа стволов космической станции, определяемое с высокой вероятностью — обычно 0,9 и более. В современных ИСЗ достигнут *срок службы* 10...12 лет и более благодаря высокой надежности элементов, гибкой и разветвленной схеме резервирования.

4.3. Основные показатели систем спутниковой связи

Зона обслуживания системы — это совокупность (объединение) зон обслуживания отдельных ИСЗ, входящих в систему (рис. 1.2); оно несколько отличается от уже введенного понятия зоны покрытия.

Слово «объединение» (а не «сумма») употреблено потому, что зоны отдельных ИСЗ обычно перекрываются между собой (что неизбежно при достижении сплошного покрытия и полезно для организации связи между земными станциями, расположенными в различных зонах), и поэтому общая зона оказывается по площади меньше суммы площадей отдельных зон.

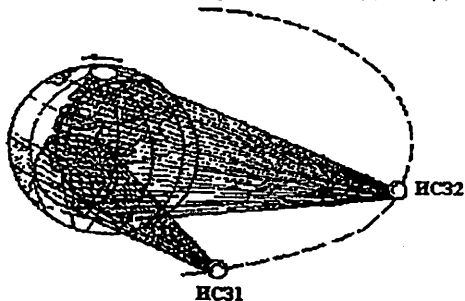


Рис. 1.2. К определению зоны обслуживания системы спутниковой связи с несколькими ИСЗ

Пропускная способность системы есть объединение пропускных способностей входящих в систему ИСЗ. В данном случае слову «объединение» (а не «сумма») придается тот же смысл. Пропускная способность системы оказывается меньше суммы пропускных способностей отдельных ИСЗ, поскольку для связи между собой станций, работающих через разные ИСЗ, часть каналов транслируется двумя КС последовательно — с помощью двухскачковых линий (Земля — ИСЗ — Земля — ИСЗ - Земля) или прямых межспутниковых соединений (Земля — ИСЗ — ИСЗ - Земля).

Если в ССС используется только один ИСЗ, зона обслуживания и пропускная способность системы и ИСЗ совпадают.

Пропускная способность системы зависит в некоторой степени от воздействия помех, создаваемых другими ССС; роль этих помех возрастает по мере увеличения числа спутников на орбите.

Далее, система спутниковой связи характеризуется *числом и размещением ЗС, числом ИСЗ и типом их орбиты, точкой размещения на геостационарной орбите*. Характеристикой системы являются также число стволов на ИСЗ, их полоса пропускания, полосы частот стволов на участках Земля – спутник и спутник – Земля.

Одной из важнейших характеристик системы является метод *многостанционного доступа* — метод совмещения сигналов, излучаемых различными ЗС, для их прохождения через общий ствол бортового ретранслятора космической станции. Многостанционный доступ (МД) применяют потому, что обычно оказывается неэкономичным создавать число стволов на ИСЗ, равное числу ЗС в системе. Применяют МД с разделением сигналов по частоте, форме и времени. Всякий способ МД приводит к потере пропускной способности ствола до 3...6 дБ, хотя в наиболее совершенных системах (с временным разделением — МДВР) эти потери могут не превышать 0,5...2 дБ.

На энергетические характеристики системы связи, необходимую полосу частот, ее электромагнитную совместимость с другими системами существенно влияют применяемый *метод модуляции*; наиболее распространены *частотная модуляция* (ЧМ) при передаче сообщений в аналоговой форме и *фазовая модуляция* (ФМ) при передаче сообщений в дискретной форме. Из параметров модуляции важнейшее значение при ЧМ имеет девиация частоты, при ФМ — число фаз несущей (кратность модуляции), а при передаче программ телевидения — также способ передачи звукового сопровождения (временное или частотное совмещение с видеосигналом, частота поднесущей и т.п.). Метод модуляции и параметры модулированного сигнала должны быть согласованы с полосой пропускания и энергетикой стволов системы связи.

Другой важнейшей характеристикой системы является качество организуемых в ней *каналов* передачи сообщений — телевизионных, телефонных и др. Обычно ССС используется для создания международных либо междугородных каналов связи большой протяженности, и качество этих каналов соответствует требованиям, сформулированным в рекомендациях Международного союза электросвязи (МСЭ) или во внутригосударственных нормативных документах. Однако в некоторых системах спутниковой связи исходя из их специфического назначения или из экономических соображений достигаются более высокие либо допускаются более низкие показатели качества. Так, в системах телевизионного вещания с приемом сигналов простыми коллективными и особенно индивидуальными установками часто допускается пониженное отношение сигнал-шум.

Иногда, и в телефонных каналах устанавливают несколько сниженное отношение сигнал-шум или сокращенную полосу пропускания по сравнению с рекомендованными для междугородных каналов, если ССС предназначена для специализированных или внутриведомственных (фирменных, служебных) целей. Как и в предыдущем случае, в таких специализированных

системах упрощенные станции приближены к абоненту, и качество канала для абонента остается приемлемо высоким.

В некоторых ССС, построенных на основе частотного многостанционного доступа и передачи каждого канала на отдельной несущей, применяют шумоподавители (компандеры), действие которых основано на особенностях восприятия шумов при звуковом сигнале. Компандеры позволяют уменьшить заметность шумов на 10...20 дБ и соответственно выиграть в энергетике линий связи и пропускной способности системы связи, но делают каналы не универсальными, поскольку указанный выигрыш не реализуется при передаче по каналам тональной частоты телеграфных сообщений, данных и др.

С другой стороны, именно в спутниковых системах возможна и осуществляется передача телевизионных сигналов повышенного качества и высокой четкости.

4.4. Состав земных и космических станций

Рассмотрим простейшую *земную станцию*, предназначенную для приема однонаправленной информации — *одноствольную приемную ЗС*. Сигналы, излучаемые ИСЗ, принимаются (рис. 1.3,а) антенной 1 ЗС, перехватывающей электромагнитное излучение и преобразующей его в электрическое напряжение. Далее принятый сигнал усиливается малощумящим входным устройством 2, содержащим малощумящий усилитель, смеситель, предварительный усилитель промежуточной частоты. Необходимые для преобразования частоты колебания формируются гетеродинным трактом 3. Основное усиление сигнала осуществляется в усилителе промежуточной частоты УПЧ 4, в состав которого входит фильтр (или фильтры), формирующий полосу пропускания, оптимальную для приема сигнала (полоса либо близка к полосе ствола, если принимаемый сигнал занимает весь ствол, как при приеме программ телевидения, многоканальных телефонных сообщений с временным многостанционным доступом и т.п., либо составляет лишь часть полосы ствола, например, при приеме телефонных сигналов в системе с частотным многостанционным доступом). За усилителем следуют демодулятор 5, выделяющий передаваемое сообщение, и окончное каналоформирующее оборудование 6. Например, при приеме программ телевидения в устройстве 6 могут осуществляться регенерация синхросмеси, выделение канала звукового сопровождения, рассекривание сигналов и т.п. Принятая информация поступает по наземной соединительной линии 7 к потребителю программ (или на телевизор, если это станция индивидуального приема). В современных приемных устройствах часто применяют двукратное преобразование частоты.

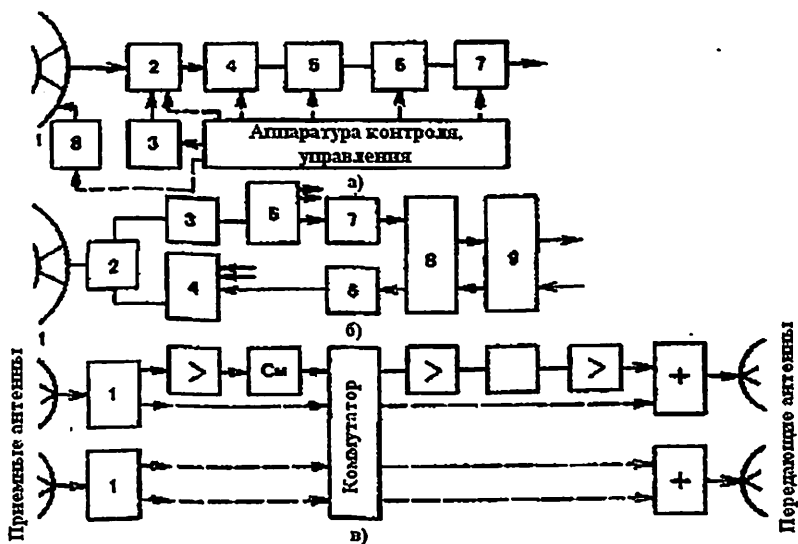


Рис. 1.3. Упрощенные структурные схемы одноствольной приемной (а) и многоствольной приемеопередающей (б) ЗС, а также бортового ретранслятора КС (в)

Комплекс 8 служит для наведения антенн на ИСЗ; в него входят привод, перемещающий антенну, и аппаратура наведения, управляющая его движением. В простых приемных станциях антенна обычно неподвижна (имеется лишь механизм неоперативной первоначальной ориентации) или имеет механизм установки в несколько фиксированных положений (позиционер).

Более сложные земные станции, предназначенные для дуплексной связи и работающие в нескольких стволах ИСЗ, строятся по более общей схеме (рис. 1.3,б), где 1 - антенна с комплексом наведения; используемая обычно одновременно для приема и передачи; 2 - фильтр разделения приема и передачи; 3 — малошумящий усилитель; 4 — устройство сложения (фильтр сложения) сигналов передатчиков различных стволов; 5 — устройство разделения (фильтр разделения) принимаемых сигналов различных стволов; 6 — передающее устройство ствола; 7 — приемное устройство ствола; 8 — каналообразующая аппаратура ствола; 9 — аппаратура соединительной линии. На схеме не показаны резервные комплекты и переключатели на резервные комплекты, обычно имеющиеся на ЗС.

Рассмотрим основные элементы радиотехнического комплекса космической станции, входящего в систему спутниковой связи. Этот комплекс состоит из двух основных частей — антенн и бортового ретранслятора.

На борту современных связных ИСЗ обычно устанавливают несколько приемных и передающих антенн. Это объясняется необходимостью сформировать различные зоны обслуживания с целью привести в соответствие излучение антенн с размещением земных станций на поверхности Земли, чтобы не рассеивать энергию бесполезно на те районы, где она не используется. Высокая направленность приемных и передающих антенн ИСЗ способствует также уменьшению взаимных помех с другими системами связи — спутниковыми и наземными, повышает эффективность использования геостационарной орбиты.

Сигнал, принятый антенной КС, поступает на входное малошумящее устройство 1 (рис. 1.3,е), в качестве которого на ИСЗ применяют смесители, усилители на малошумящих ЛБВ или транзисторах. Принятый сигнал усиливается на частоте приема, промежуточной частоте и частоте передачи. В современных ИСЗ часто осуществляется не двух-, а однократное преобразование частоты, непосредственно с входной в выходную, при этом усилитель ПЧ отсутствует.

В схеме могут применяться устройства разделения, коммутации, объединения сигналов (коммутатор на рис. 1.3,в), цель которых — подать сигналы, адресованные тем или иным ЗС, на передающие антенны с соответствующей зоной обслуживания. Перспективные системы с быстродействующей переориентацией узкого луча антенны (с коммутацией луча), что позволяет осуществлять связь со многими ЗС через остронаправленные антенны, не увеличивая числа антенн на борту ИСЗ, многократно использовать полосу частот.

На рис. 3 не показаны резервные элементы и устройства переключения на резерв; эти схемы обычно достаточно сложны, поскольку степень резервирования различна для разных элементов тракта в зависимости от их надежности, важности для жизнеспособности ИСЗ, срока службы.

В некоторых случаях на космической станции выполняется более сложная обработка сигналов, например, преобразование вида модуляции, регенерация сигналов, передаваемых в дискретной форме.

5. Расчет параметров ретранслятора Земной станции

Задание:

- Определить ослабление сигнала в свободном пространстве.
- Определить потери радиосигнала в газах атмосферы.
- Рассчитать уровень сигнала на входе приемника без замираний.
- Определить запас на замирания.
- Построение диаграммы уровней сигнала на пролете.

Методические указания к расчету:

1. По заданным величинам из таблицы 1.1 и характеристик цифровой аппаратуры MINI-LINK 15-E выписать исходные данные для расчета.

2. Рассчитайте коэффициент усиления:

$$G = 20 \lg(D) + 20 \lg(f) + 17.5, \text{ дБ}, \quad (1.1)$$

где D - диаметр антенны, м;

f - рабочая частота (берется из представленного интервала), ГГц.

При выборе антенн необходимо учитывать, что на практике не применяются антенны с коэффициентами усиления большими, чем 45 дБ.

3. Определите ослабление сигнала в свободном пространстве для разных диапазонов частот по формуле:

$$L_0 = 20 \lg(4.189 \cdot 10^4 \cdot R_0 \cdot f), \text{ дБ}, \quad (1.2)$$

где R_0 - протяженность интервала РРЛ, км.

4. Определите погонные потери радиосигнала в атомах кислорода I_o и в водяных парах I_n по графику (см. рис. 1.6) и рассчитайте полные потери в газах атмосферы:

$$L_z = (I_o + I_n) R_0, \text{ дБ} \quad (1.3)$$

5. Рассчитайте уровень сигнала на входе приемника при отсутствии замираний:

$$P_{np} = P_{nd} + 2G - L_0 - L_z - L_{доп}, \quad (1.4)$$

где P_{nd} - уровень мощности передатчика, дБм;

$L_{доп}$ - дополнительные потери, ($L_{доп} = 1$ дБ).

6. Определите запасы на замирания для разных диапазонов рабочих частот, антенн и аппаратуры.

$$M = P_{np} - P_{np \text{ пор}}(10^{-3}), \text{ дБ} \quad (1.5)$$

где $P_{np \text{ пор}}(10^{-3})$ - пороговый уровень сигнала на входе приемника при коэффициенте ошибок $K_{ош} = 10^{-3}$ (определяется из параметров аппаратуры).

7. Постройте диаграмму уровней на интервале ретранслятора.

Пример расчета:

1. Исходные данные: $V = 16$ Мбит/с; $R_0 = 20$ км, $D = 1,2$ м

Аппаратура Радан-15

Диапазон частот: 14,5–15,3 ГГц; $P_{nd} = 20$ дБ; $P_{np}(10^{-3}) = -83$ дБм

2. Расчет коэффициента усиления

$$G = 20 \lg(D) + 20 \lg(f) + 17,5 \text{ дБ},$$

где D - диаметр антенны, м; f - рабочая частота, ГГц.

$$G = 20 \lg 1,2 + 20 \lg 14,5 + 17,5 = 1,58 + 23,22 + 17,5 = 42,3 \text{ дБ}.$$

Так как $G = 42,3 < 45$, то условие выбора антенны выполнено

3. Определение ослабления сигнала на пролете.

$$L_0 = 20 \lg(4.189 \cdot 10^4 R_0 f), \text{ дБ},$$

где R_0 - протяженность интервала РРЛ, км,

$$L_0 = 20 \lg(4.189 \cdot 10^4 \cdot 20 \cdot 14,5) = 141,69 \text{ дБ}.$$

4. Определение погонных потерь радиосигнала в атомах кислорода $l_o = \gamma_o \cdot R_o$; в водяных парах $l_n = \gamma_n \cdot R_o$ (γ_o и γ_n определяются по приложению 1 в зависимости от рабочей частоты) и полных потерь в газах атмосферы

$$L_T = l_n + l_o,$$

или:

$$L_T = (\gamma_o + \gamma_n) R_o, \text{ дБ}.$$

$$L_T = (0,006 + 0,006) 20 = 0,24 \text{ дБ}$$

5. Расчет уровня сигнала на входе приемника при отсутствии замираний:

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{пд}} + 2G_1 - L_0 - L_T - L_{\text{доп}},$$

где $P_{\text{пд}}$ - уровень мощности передатчика, дБм;

$$L_{\text{доп}} = 1 \text{ дБ}.$$

$$P_{\text{пр}} = 20 + 2 \cdot 42,3 - 141,69 - 0,24 - 1 = -38,33 \text{ дБ}$$

6. Определение запасов на замирания

$$M = P_{\text{пр}} - P_{\text{пр пор}}(10^{-3}) = -38,3 + 83 = 44,67 \text{ дБ}.$$

7. Построение диаграммы уровней сигнала на пролете (рис. 1.4) по следующим точкам:

Точка 1: Начало = 0 дБ

Точка 2: $P_{\text{пд}} = 20$ дБ

Точка 3: $P_{\text{пд}} - L_{\text{доп}} = 19$ дБ

Точка 4: $P_{\text{пд}} - L_{\text{доп}} + G = 61,3$ дБ

Точка 5: $P_{\text{пд}} - L_{\text{доп}} + G - L_0 = -81,63$ дБ

Точка 6: $P_{\text{пд}} - L_{\text{доп}} + G - L_0 + G = -39,33$ дБ

Точка 7: $P_{\text{пд}} - L_{\text{доп}} + G - L_0 + G + L_{\text{доп}} = -38,33$ дБ

Точка 8: Конец = 0 дБ

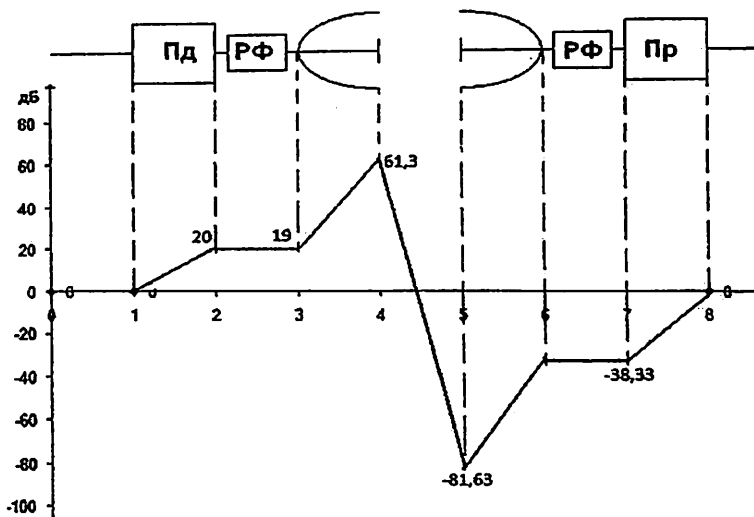


Рис. 1.4. Диаграмма уровней сигнала на пролете.

Таблица 1.1

Исходные данные по вариантам

Последняя цифра номера по журналу	V, Мбит/с	R ₀ , км	D, м
1	2	28	1,2
2	4	12	0,9
3	8	10	0,6
4	16	8	0,3
5	34	11	1,2
6	2	30	0,9
7	4	26	0,6
8	8	24	0,3
9	16	20	1,2
0	34	14	0,9

Аппаратура	Фирма	f, ГГц	P _{плз} , дБм	Скорость, Мбит/с	P _{пр.пор} (10 ⁻³), дБм
MINI-LINK 15-E	Ericsson Швеция	14,5 – 15,3	25	2	-94
				4	-91
				8	-88
				16	-85
				34	-82

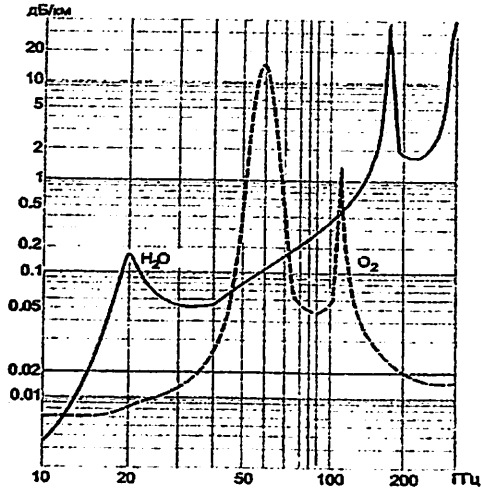


Рис. 1.6. Погонные потери радиосигнала в газах атмосферы

Контрольные вопросы

1. Дайте классификацию космических и земных станций.
2. Дайте характеристику контрольных земных станций, земных станций систем управления и контроля, соединительных наземных линий, выносного оборудования и центра управления системной связи.
3. Какие основные показатели земных станций?
4. Перечислите основные показатели космических станций.
5. Что понимается под зоной покрытия и сроком службы ИСЗ?
6. Какие основные показатели систем спутниковой связи?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2

ИЗУЧЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ СПУТНИКОВОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ

1. Цель работы

Изучение принципов организации спутниковой телевизионной передачи сигналов.

2. Задание

1. Ознакомиться с принципом организации спутниковой телевизионной передачи сигналов.
2. Ознакомиться с последовательностью этапов обработки сигналов в спутниковом телевизионном вещании.
3. Рассчитать отношение сигнал/шум спутниковой линии
4. Составить отчёт.

3. Содержание отчета

1. Назначение и цель работы.
2. Последовательность этапов обработки сигналов в спутниковом телевизионном вещании.
3. Структурная схема передающей части системы цифрового вещания.
4. Расчет отношения сигнал/шум спутниковой линии.

4. Краткая теория

XX век ознаменован огромными достижениями человечества в самых разных отраслях науки и техники, а самое главное – проникновением одной отрасли в другую. Когда успехи в развитии одной отрасли соединяются с успехами в другой, получается поразительные результаты. Эти гигантские достижения позволили добиться такого прогресса, о котором не могли мечтать даже самые изощренные фантасты прошлого века.

Открытие радио, внедрение в повседневную жизнь радиосвязи и радиовещания, магнитной записи и электронного телевидения, электроники и вычислительной техники с одной стороны, и грандиозный прорыв в области ракетно-космической техники с другой, позволил осуществить глобальное телевидение.

В отличие от радиовещания в диапазонах длинных, средних и коротких волн, которые характеризуются высокой «дальностью», телевидение из-за широкой полосы частот телевизионного сигнала приходится передавать в диапазонах ультра коротких волн (УКВ), дальность приема которых ограничена. Поэтому для расширения зоны приема используют ретрансляцию ТВ сигнала, излученного одним передатчиком, другими передатчиками (ретрансляторами), расположенными на допустимых расстояниях от первого. При космической ретрансляции используется

телевизионные ретрансляторы, размещенные на искусственных спутниках земли (ИСЗ). Благодаря этому сегодня любая семья получила доступ к практически неограниченному числу ТВ программ, в том числе и передаваемым с другого края света. Однако, неизбежные особенности космической ретрансляции не позволяют принимать ТВ передачи с ИСЗ так же просто, как это делается от наземных телецентра или ретранслятора.

Одной из особенностей спутника связи является ограниченность энергетического потенциала спутникового ретранслятора, поэтому в спутниковом вещании традиционно используют методы обработки, требующие минимальное отношение сигнал-шум на входе приемника.

Спутниковое телевидение представляет собой один из видов практического использования ИСЗ. В настоящее время в области телевидения искусственные спутники Земли используются для международного обмена телевизионными программами, для распространения телевизионных программ среди вещательных организаций, для ретрансляции наземных телевизионных передатчиков, среди кабельных сетей, а так же непосредственного телевизионного вещания (НТВ), целью которого является передача телевизионных программ со спутников таким способом, который позволяет вести непосредственный прием телевизионных передач индивидуальными телезрителями. Кроме того, спутник используется для ретрансляции изображений текущих текстов газетных полос, телефонной междугородной и международной связи, программ звукового радиовещания и другой информации.

Выведенный на орбиту вокруг Земли ИСЗ содержит электронную аппаратуру, которая по радио каналу получает с Земли определенный объем информации. Сигналы принятой информации аппаратурой спутника усиливаются, преобразуются по частоте и излучаются обратно на Землю (ретранслируются). Для приема и передачи спутник оборудован антеннами, а для электропитания аппаратуры – солнечными батареями и аккумуляторами.

Вначале для указанных целей применялись искусственные спутники, которые обращались по эллиптическим орбитам, а затем нашли применение геостационарные спутники, что привело к упрощению и удешевлению аппаратуры, а круглосуточное освещение солнцем солнечных батарей позволило значительно увеличить мощность спутниковых передатчиков.

Исходя из своего назначения, согласно принятым международным соглашениям все спутниковые системы, передающие ТВ программы подразделяются на фиксированную спутниковую службу (ФСС), подвижную спутниковую службу (ПСС) и радиовещательную спутниковую службу (ВСС).

ФСС – служба радиосвязи через космическую станцию, расположенную на ИСЗ, между земными станциями, расположенными в определенных (фиксированных) точках. В системе ФСС транслируемые спутником ТВ сигналы могут принимать специальными наземными станциями с высоким качеством.

ФСС – служба радиосвязи между подвижными земными станциями через одну или несколько космических станций.

ВСС – служба радиосвязи, в которой сигналы космических станций предназначены для непосредственного индивидуального приема населением с помощью сравнительно простых и недорогих установок с так называемым абонентским качеством.

К функциям ФСС относятся не только ретрансляция ТВ передач: основной объем информации этой службы занимают дуплексная телефонная связь, телеграф, изображения газетных полос, а в перспективе – видеотелефонная связь. Для каждой из указанных служб выделены определенные полосы частот, которые различны для линий «Земля-Космос» и «Космос-Земля». Это необходимо для осуществления развязки между передатчиками и приемниками.

К фиксированной службе относятся первые отечественные системы «Орбита» и «Интерспутник», а также последующие «Экран» и «Москва», которые начали работать в 1976 и 1980 годах, а к зарубежным – «Intelsat» и «Eutelsat». К радиовещательной службе относятся получившая в настоящее время широкое применение отечественная система СТВ-12 (спутниковое телевизионное вещание в диапазоне 12 ГГц), а так же зарубежные системы TDF, TV-SAT и другие. Необходимо заметить, что разделение между системами ФСС и ВСС не совсем четкое. Так, система «Экран-М» также могла быть использована для приема ТВ передач индивидуальными телезрителями с помощью выпускавшегося промышленностью абонентского приемника «Экран». Это облегчалось тем, что телевизионный сигнал передавался спутниковым ретранслятором на частотах дециметровых волн в диапазоне 702...726 МГц.

Необходимо также заметить, что мощность спутниковых передатчиков ФСС, как правило, значительно меньше, чем передатчиков ВСС, так как наземные станции ФСС оснащены крупногабаритными антеннами, которые обладают значительно большими значениями коэффициента усиления. Диаметр параболических отражателей антенн наземных станций этих служб порой достигает 24 метров. Это позволяет использовать спутниковые передатчики мощностью порядка десятков ватт в отличии от мощности передатчиков ВСС, которая достигает 200 Вт.

В течении последних лет благодаря достигнутым успехам в развитии СВЧ техники появилась возможность создания сравнительно простых и недорогих установок с антеннами приемлемых размеров для индивидуального приема телевизионных передач не только радиовещательной, но и фиксированной службы. Поэтому многие телезрители разных стран приобретают установки для приема телепередач со спутников ФСС. В этом отношении наибольший интерес представляют те спутники ФСС, передатчики которых работают на частотах, смежных с частотами ВСС (11,7...12,5 ГГц). Таковы полосы частот 10,7...11,7 и 12,5...12,75 ГГц. В пределах этих частотных полос работают передатчики

спутников международной организации спутниковой связи IntelSat, Европейская организация спутниковой связи EutelSat, а так же спутников, принадлежащих коммерческим ассоциациям Telecom (Франция), Koremicus (ФРГ), Astra (Люксембург) и др.

В системах телевидения телевизионные радиосигналы, излучаемые спутниковыми передатчиками, значительно отличаются от сигналов, излучаемых наземными центрами.

Другой особенностью является использование в спутниковых системах непосредственного телевизионного вещания несущей частоты, расположенной в диапазоне сантиметровых волн, к которым относится диапазон 12 ГГц, в отличие от наземного телевидения, передачи которого ведутся только на метровых волнах. На таких высоких частотах передача принятого сигнала от антенны к телевизионному приемнику с помощью коаксиального кабеля, как это принято в наземном телевидении, просто невозможна. Эти особенности требуют соответствующего построения схемы телевизионного приемника или дополнительного устройства (приставки) к стандартному телевизору, предназначенному для приема наземного телевидения.

Создание эффективного алгоритма цифровой обработки ТВ сигнала стало возможным на основе больших достижений в разработке и производстве сверхбольших интегральных схем (СБИС). Основным алгоритмом кодирования стал MPEG стандарт. Алгоритм, положенный в основу стандартов MPEG включает определенный базовый набор последовательных процедур.

В качестве исходного используется компонентный ТВ сигнал RGB, затем он матрицируется в сигнал YUV; дискретизация, как и в цифровом стандарте "4:2:2" осуществляется с тактовыми частотами 13,5 МГц для сигнала яркости и 6,76 МГц для цветоразностных сигналов. На этапе предварительной обработки удаляется информация, затрудняющая кодирование, но несущественная с точки зрения качества изображения. Обычно используется комбинация пространственной и временной нелинейной фильтрации.

Основная компрессия достигается благодаря устранению избыточности ТВ сигнала. Различают три вида избыточности - временную (два последовательных кадра изображения мало отличаются один от другого), пространственную (значительную часть изображения составляют однотонные одинаково окрашенные участки) и амплитудную (чувствительность глаза неодинакова к светлым и темным элементам изображения).

Временная избыточность устраняется передачей вместо кадра изображения его отличий от предыдущего кадра. Простое вычитание кадров было значительно усовершенствовано, когда заметили, что большая часть изменений, появляющаяся на изображении, может быть интерпретирована как смещение малых областей изображения. Разбив изображение на

небольшие блоки (16x16 элементов) и определив их расположение в предыдущем кадре, можно для каждого блока найти набор параметров, показывающий направление и значение его смещения. Этот набор называют вектором движения, а всю операцию - предсказанием с компенсацией движения. По каналу связи передаются только вектор движения и относительно небольшая разность между текущим и предсказанным блоком. На этом этапе устраняется пространственная избыточность - разностный сигнал подвергается преобразованию из пространственной в частотную область, осуществляемому с помощью двумерного дискретно-косинусного преобразования (ДКП). ДКП преобразует блок изображения из фиксированного числа элементов в равное число коэффициентов. Это дает два преимущества. Во-первых, в частотной области энергия сигнала концентрируется в относительно узкой полосе частот (обычно на НЧ) и для передачи несущественных коэффициентов достаточно небольшого числа битов. Во-вторых, разложение в частотной области максимально отражает физиологические особенности зрения.

Следующий этап обработки заключается в адаптивном квантовании полученных коэффициентов. Набор коэффициентов каждого блока рассматривается как вектор, и процедура квантования производится над набором в целом (векторное квантование). Оценка показывает, что описанная процедура сжатия близка к теоретическому пределу сжатия информации по Шеннону.

Амплитудная избыточность исходного сигнала устраняется на этапе кодирования сообщения перед подачей его в канал связи. Не все значения вектора движения и коэффициентов блока равновероятны, поэтому применяется статистическое кодирование с переменной длиной кодового слова. Наиболее короткие слова присваиваются событиям с наибольшей вероятностью. Дополнительная компрессия достигается кодированием в виде самостоятельного символа групп нулей. Отличительной чертой стандартов MPEG1 и MPEG2 является их гибкость. Они могут работать с параметрами разложение изображения 525 строк при 30 кадрах в секунду и 625 строк при 25 кадрах в секунду, пригодны для форматов изображения 4:3, 16:9 и др., допускают усовершенствование кодера без изменений в уже остановленных декодерах.

Для спутникового телевидения более перспективным, безусловно, является MPEG2, рассчитанный на обработку входного сигнала с чересстрочной разверткой и различными скоростями цифрового потока (4...10 Мбит/с и более), каждой из которых соответствует определенная разрешающая способность. По этому параметру в стандарте определены четыре уровня: низкий (на уровне бытового видеомаягнитофона), основной (студийное качество), телевидение повышенной четкости с 1440 элементами на строку и полное ТВЧ с 1920 элементами. По сложности используемого алгоритма обработки стандарт содержит четыре профиля: простой - согласно вышеописанному алгоритму; основной - с добавлением двунаправленного

предсказания; улучшенный основной - с улучшением либо отношения сигнал/шум, либо пространственного разрешения и перспективный - с возможностью одновременной обработки цветоразностных сигналов.

Можно рассчитать, что в спутниковом канале с пропускной способностью 20...25 Мбит/с можно передать четыре-пять программ хорошего качества, соответствующего магистральным каналам подачи программ, или 10...12 программ с качеством, соответствующим видеомагнитофону стандарта VHS.

Составной частью в стандарты MPEG1 и MPEG2 входят алгоритмы передачи звуковых сигналов с цифровой компрессией, позволяющие уменьшить скорость цифрового потока в шесть-восемь раз без субъективного ухудшения качества звучания. Один из широко используемых методов получил название MUSICAM.

Исходным сигналом является ИКМ последовательность, полученная стробированием исходного звукового сигнала с тактовой частотой 48 кГц и преобразованием в цифровую форму с точностью 16 бит/отсчет. Признано, что такой цифровой сигнал соответствует качеству звучания компакт-диска (CD-quality). Для эффективного использования спектра необходимо снизить максимальную скорость цифрового потока. Новая техника кодирования использует свойства человеческого восприятия звука, связанные со спектральным и временным маскированием. Шумы квантования динамически приспособляются к порогу маскирования, и в канале передаются только те детали звучания, которые могут быть восприняты слушателем. Эта идея реализуется в кодере. Здесь с помощью блока фильтров происходит разделение сигнала на 32 парциальных сигнала, которые квантуются в соответствии с управляющими сигналами психоакустической модели человеческого слуха, использующей оценку порога маскирования для формирования этих управляющих сигналов. На выходе кодера из парциальных отсчетов формируется набор кодовых слов, объединяемый далее в кадр заданной длительности. Выходная скорость кодера в зависимости от требований качества и числа программ в канале может составлять 32, 48, 56, 64, 80, 96, 112, 128, 160 или 192 Кбит/с на монопрограмму. Скорость 32 Кбит/с соответствует обычному речевому каналу, 48 Кбит/с - наземному АМ вещанию. При скорости 256 Кбит/с на стереопару не только обеспечивается качество компакт-диска, но и имеется значительный запас на последующую обработку.

Системная часть стандарта MPEG2 описывает объединение в единый цифровой поток отдельных потоков изображения, звука, синхронизации, данных одной или нескольких программ. Для передачи в среде с помехами формируется "транспортный" поток, включающий средства для предотвращения ошибок и обнаружения утерянных пакетов. Он содержит пакеты фиксированной длины (188 байт), содержащие стартовый байт, префикс (3 байта) и область полезных данных.

Перед подачей в канал связи сигнал подвергается дополнительному помехоустойчивому кодированию и поступает на модулятор. Эти операции не входят в стандарт MPEG и в разных спутниковых системах могут выполняться различными способами, что лишает эти системы аппаратурной совместимости. Европейским странам удалось решить эту проблему, разработав на базе MPEG2 стандарт многопрограммного цифрового ТВ вещания DVB, нормирующий все операции на передающей стороне вплоть до подачи сигнала на вход СВЧ передатчика.

В стандарте DVB применяется каскадное помехоустойчивое кодирование. Внешний код - укороченный код Рида-Соломона (204.188) с $t=8$, обеспечивающий "безошибочный" прием (вероятность ошибки на выходе менее 10^{-10}) при вероятности ошибки на входе менее 10^{-3} . Внутренний код - сверточный с относительной скоростью $1/2, 2/3, 3/4, 5/6$ или $7/8$ и длиной кодового ограничения $K=7$, декодирование осуществляется по алгоритму Витерби с мягким решением.

На приемной стороне декодер осуществляет все вышеописанные операции в обратном порядке, восстанавливая на выходе изображение, весьма близкое к исходному.

Еще одна специфическая особенность спутникового вещательного ретранслятора – работа в нелинейном режиме вблизи точки насыщения выходного усилительного каскада, так как именно в этом режиме удастся получить максимальную выходную мощность.

В этом режиме цифровые токи нескольких программ объединяются в общий поток и модулируют единую несущую частоту. Для уменьшения нелинейных искажений используют угловые методы модуляции.

Также используется метод использования одного или нескольких каналов на несущую, что требует перехода в линейный режим выходной мощности, который и неэффективен в спутниковом вещании.

Спутниковое телевизионное вещание осуществляется в стандарте DVB-S. Последовательность этапов обработки приведена на рис.2.1.

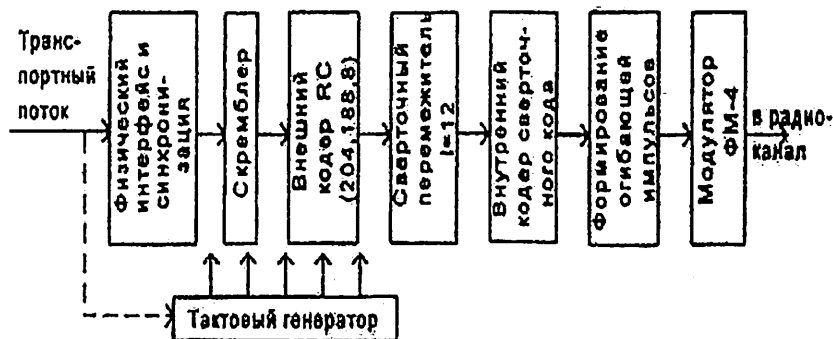


Рис. 2.1. Последовательность этапов обработки сигналов в спутниковом ТВ вещании

Пришедшие на вход модулятора транспортные пакеты длиной 188 байтов содержат синхробайт и 187 байтов данных. В модуляторе формируется внутренний цикл, синхронизации, включающий 8 пакетов - первый пакет с инвертированной стартовой синхрогруппой, остальные - с неинвертированной. Цель синхронизации - устранение неопределенности при передаче данных.

Символьная синхронизация производится тактовой частотой транспортных пакетов, цикловая синхронизация - инвертированными стартовыми синхрогруппами.

Для предотвращения несанкционированного приема транспортный поток поступает на скремблер.

После скремблирования данные транспортного потока подвергаются помехоустойчивому кодированию каскадным кодом, в котором в качестве внешнего используется код Рида - Соломона, а в качестве внутреннего - сверточный код.

Такое высокое требование к коэффициенту ошибок связано с принятой DVB концепцией, согласно которой цифровой канал должен быть универсальным и пригодным для передачи не только телевидения, но и любых других цифровых потоков.

Для защиты от пакетных ошибок большой длительности в кодере осуществляется сверточное перемежение данных. В декодере перемежение восстанавливается.

Декодер сверточного кода осуществляет первый уровень кода защиты и должен работать при коэффициенте ошибок входного сигнала, снижая коэффициент ошибок в выходном сигнале до приемлемого значения, необходимого для работы кода РС. В декодере осуществляется прямая коррекция ошибок.

Переключение с базовой скорости $\frac{1}{2}$ на другие значения осуществляется выборочным вычеркиванием - перфорированием - некоторых символов. Это несколько снижает корректирующую способность кода, но одновременно уменьшает и его избыточность позволяя высвободить емкости для полезных данных.

Основным видом модуляции в стандарте DVB-S принято ФМ-4, хотя в отдельных случаях используется ФМ-8. Пропускная способность радиоканала, работающего по стандарту DVB-S зависит от полосы пропускания ствола, вида модуляции и относительной скорости кодирования.

В зависимости от требуемого качества передаваемой информации скорость передачи данных цифрового ТВ-сигнала может изменяться в диапазоне от 1,5 до 15 Мбит/с. Для передачи изображения, имеющего качество студийного аналогового видеосигнала требуется скорость от 6 до 8 Мбит/с. Стереофонический звуковой сигнал в зависимости от требуемого качества передается со скоростью передачи 128-256 кбит/с.

Рассмотрим для примера комплект оборудования цифровой компрессии телевизионного сигнала спутникового стандарта MPEG/DVB-S.

Данное оборудование имеет возможность подключения источника ТВ сигнала с различными интерфейсами - композитными (диалоговыми) и цифровыми на выходе волоконно-оптических линий связи Центральной земной станции.

Если на выходе выделенной линии будут аналоговые интерфейсы, то на входе оборудования компрессии устанавливаются аналого-цифровые преобразователи (АЦП) видеосигнала и сигнала звукового сопровождения. АЦП видеосигнала осуществляет 8-битовое преобразование входного композитного аналогового сигнала стандарта SECAM в цифровой сигнал формата SDI (*Serial Digital Interfuse* — последовательный цифровой интерфейс). АЦП сигнала звукового сопровождения преобразует аналоговые звуковые сигналы двух стереопар в два цифровых потока AES/EBU (двухканальный цифровой звуковой сигнал, применяемый в качестве источника для кодеков (стандарта MPEG-2).

Подготовленные ТВ программы в формате SDI поступают на вход видео кодера, обеспечивающего сжатие информации и формирование цифровых транспортных потоков (рис. 2.2). Звуковые данные AES/EBU - элементы звукового кодера сжатия. Кодеры сжатия, от устойчивой работы которых в значительной степени зависит качество и надежность работы всей системы, являются важнейшей составной частью комплекса сети цифрового вещания. Для повышения надежности кодеры сжатия обеспечиваются «горячим» резервом с автоматическим переключением им резервный комплект.

Переключение входного сигнала производится с помощью быстрдействующего матричного переключателя. В резервном кодере при этом автоматически задаются необходимые начальные установки — скорость потока, разрешающая способность и т.д. Каждый кодер, как правило, имеет два равноценных выхода сжатого сигнала в формате пакетированного элементарного потока (ПЭП), которые подсоединяются к входам основного и резервного мультиплексоров.

Выбор способа передачи звука связан еще с одним аспектом построения сети - выбором места расположения аппаратуры цифровой компрессии. Современные вещательные комплексы, как правило, располагаются в нескольких пространственно разнесенных зданиях, в частности, комплекс подготовки программ и передающий центр (особенно в системах спутникового вещания) могут быть разнесены на многие десятки километров. Компрессия занимает некоторое промежуточное положение между подготовкой программ и их передачей, поэтому аппаратура компрессии может быть с успехом размещена и в комплексе подготовки программ, и в передающем центре.

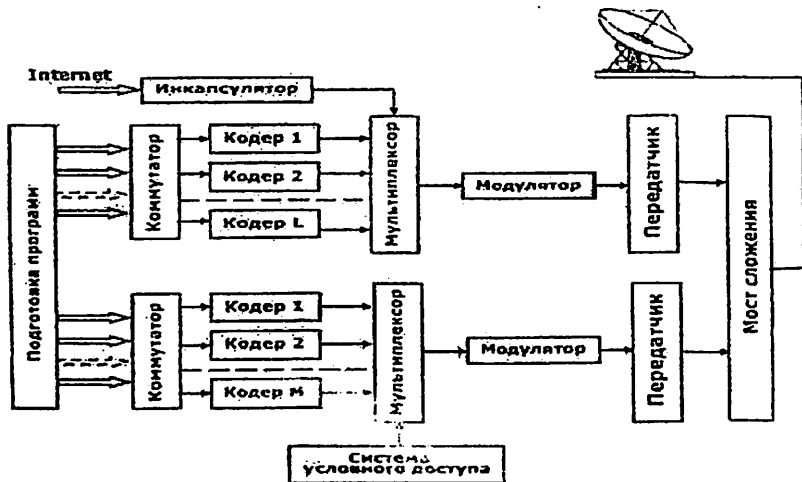


Рис. 2.2. Структурная схема передающей части системы цифрового вещания

При большом расстоянии до передающего центра размещение аппаратуры компрессии в составе комплекса подготовки программ более экономично, так как передавать по линиям связи в этом случае придется не исходные ТВ программы, а сжатые в несколько раз цифровые потоки. Если же аппаратура компрессии размещена на передающем центре, то передача внедренного звука, безусловно, будет более экономичным решением, чем раздельная передача видео- и звукоданных.

Сжатые сигналы поступают на вход мультиплексора. Здесь формируется суммарный транспортный поток стандарта *DVB/ASI*.

Asynchronous Serial Interface — асинхронный последовательный интерфейс) в соответствии с требованиями нормативов *ISO/IEC13818* с длиной пакета 188 байт. В пакет кроме звуковых и видеосигналов включаются также специальная программная и сервисная информация в виде таблиц *PSI/SI (Program Specific Information/Service Information)*, сообщения системы условного доступа, сигналы электронного путеводителя по программам (ЭПП) и др.

В непосредственной близости от мультиплексора должно находиться оборудование условного доступа.

Данные пользователя обычно поступают на Земные станции в формате *IP (Internet Protocol)* и переводятся в формат транспортного потока (чаще всего *DVB-ASI*). Он может размещаться вблизи мультиплексора или связываться с мультиплексором соединительной линией, допускающей прохождение сигналов в формате *ASI* (150...250 м для коаксиального кабеля или 20...40 км для оптической линии). Устройство ввода информации Интернета в транспортный поток может находиться как у Интернет-провайдера, так и на передающем центре.

Конфигурация передающего оборудования предполагает наличие резервирования.

5. Расчет отношения сигнал/шум спутниковой линии.

Задание:

- Определить отношение сигнал/шум на ВЧ входе приемника.
- Определить $B_{ТВ}$ (ЧМ) - выигрыш в отношении сигнал – флукуационный шум, обеспечиваемый ТВ приёмником.
- Определить отношение сигнал/шум на НЧ окончании спутниковой линии (в дБ) при старом и новом фильтре.

Методические указания к расчету:

1. По заданным величинам из таблицы 2.1 выписать исходные данные для расчета.

2. Рассчитайте выигрыш в отношении сигнал – флукуационный шум, обеспечиваемый ТВ приёмником:

$$B_{ТВ}(ЧМ) = \frac{1,5\Delta f_{\text{ш}}(f_g)^2}{F_B^3} \quad (1)$$

где f_g - пиковая девиация частоты, отведенная на ТВ сигнал;

$$f_g = f_{g0} + \Delta f_g$$

$F_B = 6$ МГц – верхняя частота спектра ТВ сигнала;

3. Рассчитайте отношение сигнал/шум на входе и выходе приёмника при передаче ТВ методом ЧМ (отдельно для фильтра старого и нового типа):

$$\left(\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}\right)_{\text{вых}} = \left(\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}\right)_{\text{вх}} + B_{ТВ}(ЧМ) + B_B \cdot \alpha + k \quad (2)$$

где $B_{ТВ}(ЧМ)$ - выигрыш в отношении сигнал – флукуационный шум, обеспечиваемый ТВ приёмником;

B_B – визометрический коэффициент;

α – выигрыш в тепловых шумах от введения тепловых линейных предскажений;

$k=8$ – пересчет размаха синусоидального сигнала в эффективное значение.

$B_B \cdot \alpha = 18,1$ дБ (для фильтра старого типа);

$B_B \cdot \alpha = 14,3$ дБ (для фильтра нового типа).

Пример расчета:

1. Исходные данные:

Девияция частоты $f_{\text{до}} = 11,5$ МГц.

Нестабильность частоты гетеродина $\Delta f_g = 0,5$ МГц.

Эффективная полоса частот $\Delta f_{\text{ш}} = 36$ МГц.

Суммарное отношение сигнал/шум на спутниковой линии
 $(P_s/P_{\text{ш}})_{\text{вх}} = 16$ дБ

2. Расчет выигрыша в отношении сигнал-флуктуационный шум, обеспечиваемый ТВ приёмником:

$$V_{\text{ТВ(ЧМ)}} = 1,5 \cdot 36 \cdot 10^6 \cdot (11,5 + 0,5)^2 \cdot 10^{12} / 6^3 \cdot 10^{18} = 36 \text{ Гц}$$

При значениях $V_{\text{ТВ(ЧМ)}}$ 30-40 Гц, выигрыш составляет ~15,56 дБ

3. Определение отношения сигнал/шум на входе и выходе приёмника при передаче ТВ методом ЧМ для фильтра старого типа.

$$(P_s/P_{\text{ш}})_{\text{вых}} = 16 + 15,56 + 18,1 + 8 = 57,66 \text{ дБ.}$$

4. Определение отношения сигнал/шум на входе и выходе приёмника при передаче ТВ методом ЧМ для фильтра нового типа.

$$(P_s/P_{\text{ш}})_{\text{вых}} = 16 + 15,56 + 14,3 + 8 = 53,66 \text{ дБ.}$$

Таблица 2.1.

Исходные данные по вариантам

Последняя цифра номера по журналу	$f_{\text{до}}$, МГц	Δf_g , МГц	$\Delta f_{\text{ш}}$, МГц	$(P_s/P_{\text{ш}})_{\text{вх}}$, дБ
1	12	0,3	32	10
2	11,7	0,4	33	12
3	11	0,5	34	13
4	11,2	0,6	35	15
5	11,5	0,3	36	16
6	12	0,4	36	11
7	11,7	0,5	35	14
8	11	0,6	34	13
9	11,2	0,3	33	15
0	11,5	0,4	32	12

Контрольные вопросы

1. Принцип организации спутниковой телевизионной передачи сигналов.
2. Виды спутниковых служб.
3. Характерная особенность формирования сигнала.
4. Необходимость сжатия информации в транспортном потоке.
5. Структурная схема передающей части системы цифрового вещания.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

ИЗУЧЕНИЕ БОРТОВЫХ РЕТРАНСЛЯТОРОВ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

1. Цель работы

Изучение принципов построения бортовых ретрансляторов систем космической радиосвязи.

2. Задание

1. Ознакомиться со структурной схемой бортового передающего устройства.
2. Ознакомиться с элементной базой используемой в мощных выходных усилителях.
3. Ознакомиться с назначением входного приёмного устройства бортового ретранслятора.
4. Рассчитать сеанс связи и трассы пролета ИСЗ
5. Составить отчёт.

3. Содержание отчёта

1. Цель работы.
2. Структурная схема передатчика БРТР (сложения мощностей) по заданию преподавателя.
3. Преимущества и недостатки твердотельных передатчиков БРТР.
4. Три основных способа сложения сигнала в тракте СВЧ.
2. Расчет сеанса связи и трассы пролета ИСЗ

4. Краткая теория

Главным параметром бортового ретранслятора (БРТР), определяющим ресурс и качественные характеристики системы связи, является мощность передатчика, максимальное значение которой ограничено рядом факторов:

- максимальной мощностью первичных источников питания ИСЗ;
- возможностью отвода рассеиваемого тепла за пределы спутника;
- снижением долговечности и надежности электронных приборов при повышении их мощности.

Передатчики большинства БРТР гетеродинного типа строят по традиционной схеме (рис. 3.1), состоящей из мощного преобразователя частоты и мощного усилителя с необходимым набором фильтрующих и согласующих элементов.

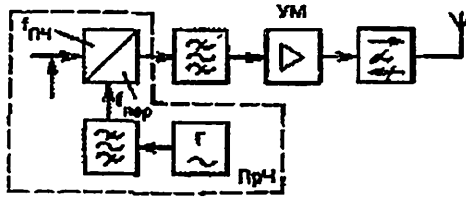


Рис. 3.1. Структурная схема передатчика БРТР

Чаще всего передатчики усиливают сигналы в полосе одного ствола, но иногда используются и для одновременного усиления сигналов нескольких стволов.

Главным элементом передатчика является мощный выходной усилитель (в стволах с прямым переносом под передатчиком понимают мощный усилитель), так как именно на него падает значительная часть потребляемой энергии всего БРТР, массы и объема. В качестве собственно усилительного элемента в зависимости от назначения, требуемой мощности, диапазона частот, массы, габаритных размеров, КПД, срока службы и т.п. используются различные СВЧ приборы, лампы бегущей волны (ЛБВ), клистроны, твердотельные приборы (транзисторы, туннельные, лавинно-пролетные диоды и т.п.).

ЛБВ составляют наиболее многочисленный и быстроразвивающийся класс электровакуумных приборов СВЧ для бортовой техники, широкое применение которых в данной области объясняется тем, что они обладают рядом достоинств по сравнению с другими приборами СВЧ диапазона: высоким коэффициентом усиления, широкополосностью, возможностью работы в импульсном и непрерывном режимах в широком интервале выходных мощностей.

Применяемые в БРТР ЛБВ отличаются, кроме того, высоким КПД, компактностью, малой массой, высокой долговечностью (до 100...150 тыс. ч) и надежностью. Эти приборы работают при напряжениях менее 6500 В, их конструкция обладает достаточной жесткостью и способна выдерживать сильные вибрации и ударные нагрузки.

Фактически все ЛБВ, применяемые в БРТР, имеют одинаковую конструкцию, за исключением небольших модификаций, связанных с выполнением конкретных специфических функций БРТР.

На рис. 3.2 приведены кривые, показывающие наибольшие значения выходной мощности и КПД, достигнутые на ЛБВ различного типа. Для БРТР наибольший интерес представляют ЛБВ средней мощности, причем для этих целей создают специальные экономичные и малогабаритные ЛБВ. Исходя из условий применения ЛБВ в бортовой необслуживаемой аппаратуре, к ним предъявляют очень высокие требования по КПД, долговечности, габаритным размерам и массе.

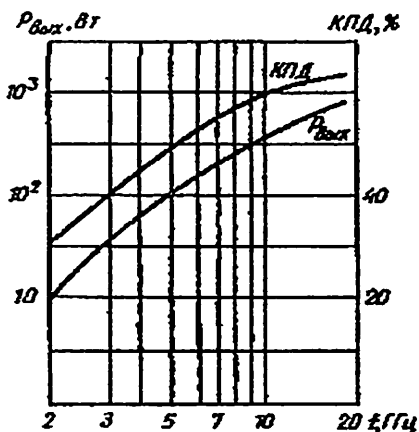


Рис.3.2. Зависимости максимальных значений выходной мощности и КПД от частоты для ЛБВ

К числу таких методов относятся:

- изменение фазовой скорости замедленной волны по длине лампы или коррекция синхронизации скорости;
- формирование дискретной характеристики;
- многокаскадная рекуперация в коллекторе (понижение потенциала коллектора или последовательности коллекторов до значения, меньшего потенциала замедляющей структуры, что дает возможность вернуть часть неиспользованной энергии от работающего электронного пучка).

Обычно коэффициент - усиления ЛБВ составляет 40...50 дБ, а КПД – 64...50 %.

Необходимый режим ЛБВ по уровню выходной мощности устанавливается подбором уровня входной мощности. На амплитудной характеристике ЛБВ различают две характерные области, соответствующие двум режимам работы.

В линейном режиме (режим малого сигнала) коэффициент усиления имеет постоянное значение, а выходная мощность меняется пропорционально входной. Максимальная выходная мощность ЛБВ в линейном режиме меньше номинальной на 3...6 дБ.

В режиме насыщения (режим большого сигнала) линейная зависимость выходной мощности от входной нарушается, увеличение сигнала на входе не приводит к дальнейшему увеличению выходной мощности из-за ограниченной мощности электронного пучка. В режиме насыщения резко возрастает крутизна фазоамплитудной характеристики ЛБВ, представляющей собой зависимость фазового сдвига, вносимого ЛБВ, от амплитуды входного сигнала, что приводит к преобразованию амплитудной модуляции в фазовую

(амплитудно-фазовая конверсия). Таким образом, паразитная АМ, например, частотно-модулированного сигнала на входе ЛБВ приводит к возникновению паразитной ФМ и, следовательно, к нелинейным искажениям сигналов.

В выходных усилителях мощности на ЛБВ из соображений экономичности желательно использовать режим работы лампы, близкий к насыщению (номинальный). При передаче широкополосных сигналов в режиме насыщения или вблизи режима насыщения необходимо учитывать возникающие искажения. Допустимые уровни искажений зависят от вида модуляции – односигнальная ЧМ или ЧМ с несколькими несущими – и от вида многостанционного доступа – МДВР или МДЧР.

Два явления, возникающие в ЛБВ, – нелинейность амплитудной характеристики и АМ-ФМ преобразование – служат причинами появления взаимных помех при усилении нескольких сигналов.

В оконечных усилителях БРТК используются и клистроны. Так, в разработанной в России системе СТВ «Экран», работающей в диапазоне 702...726 МГц, использован прямопролетный клистрон с выходной мощностью 200...300 Вт с полосой пропускания около 24 МГц по уровню 2 дБ. Применение клистронов в бортовых устройствах ограничено из-за их узкополосности. К достоинствам клистронов следует отнести простоту конструкции, меньшее по сравнению с ЛБВ число номиналов питающих напряжений, высокий КПД. В остальном клистронные усилители аналогичны усилителям на ЛБВ со всеми их достоинствами и недостатками (нелинейность передаточной характеристики, амплитудно-фазовая конверсия и т.п.).

Твердотельные приборы в качестве выходных усилителей мощности БРТР стали использоваться только в последнее время в связи с успехами полупроводниковой электроники, позволяющими значительно повысить мощность передатчиков. Развитие СВЧ полупроводниковых передатчиков для БРТР идет по двум основным направлениям: создания новых мощных СВЧ транзисторов и сложение мощностей полупроводниковых генераторов с помощью многополосных схем или сложение мощностей в пространстве с помощью фазированных антенных решеток (ФАР).

Преимущества твердотельных передатчиков БРТР по сравнению с электровакуумными состоят в следующем:

- как правило, существенно большая долговечность;
- низкие значения питающих напряжений (первые требуют для питания напряжения не более единиц или десятков вольт и лишь одного - двух номиналов, вторые требуют для питания целый набор напряжений различных номиналов, максимальные значения которых составляют несколько киловольт даже при сравнительно небольшой выходной мощности СВЧ сигнала);
- применение полупроводниковых приборов позволяет воспользоваться методами микроэлектроники при изготовлении различных узлов и

блоков, входящих в передатчики БТР, что, в свою очередь, вызывает существенное уменьшение массы и габаритных размеров последних;

- мощные полупроводниковые приборы обладают практически мгновенной готовностью к работе по сравнению с электровакуумными, у которых цепь накала требует предварительного прогрева. Это делает систему связи более гибкой и оперативной.

По данным некоторых источников, существенное улучшение параметров ствола БТР достигнуто в спутниках американской системы RSA Satcom благодаря применению полупроводникового усилителя мощности (ПУМ). Замена в них ЛБВ на ПУМ (на GaAs полевых транзисторах) позволила существенно улучшить характеристики и надежность передающего тракта БТР. Кроме того, по данным этой же работы, ПУМ обладает более высокой линейностью характеристики особенно в режиме работы вблизи точки насыщения. Так, для ПУМ достигнут уровень интермодуляционных искажений третьего порядка (при передаче двух несущих), на 3...8 дБ меньший, чем для ЛБВ.

Следствием перечисленных преимуществ являются существенное снижение массы и габаритных размеров, повышение экономичности, долговечности и надежности твердотельных передатчиков БТР по сравнению с электровакуумными при всех прочих равных условиях.

Наряду с преимуществами следует отметить и недостатки таких передатчиков:

- полупроводниковые приборы чувствительны к отклонениям, даже кратковременным, от допустимого эксплуатационного режима работы, что может привести к пробою *p-n* перехода и полному отказу прибора; поэтому в передатчике приходится принимать специальные меры для защиты от случайно возникающих неблагоприятных факторов;
- мощность полупроводниковых приборов ограничена, причем для большинства из них с повышением частоты/она уменьшается по закону

$$f^2.$$

Различают три основных способа сложения: с помощью многополосных схем; с помощью многоэлементной ФАР; в общем резонаторе. При первом способе к суммирующему устройству подключают большое число однотипных усилителей, мощность которых поступает в общую выходную нагрузку; при втором способе сложение мощностей сигналов производится в пространстве с помощью ФАР, включающей большое число соответственно ориентированных облучателей, каждый из которых возбуждается от самостоятельного усилителя. Третий способ используется только для сложения мощностей СВЧ генераторных диодов, расположенных в общем резонаторе. На практике первый способ позволяет повысить мощность передатчика по отношению к мощности одного транзистора на 15...20 дБ, второй способ — на 30...40 дБ, третий — на 10...13 дБ.

Основные требования, которым должны отвечать перечисленные способы суммирования:

1. Мощность сигнала на выходе устройства сложения равна или близка к сумме номинальных мощностей $P_{НОМ}$ отдельных n усилителей:

$$P_{ОБЩ} = nP_{НОМ}.$$

2. Все усилители должны быть взаимно независимы, т.е. развязаны друг от друга. Выход из строя любого усилителя не должен влиять на режим работы и выходную мощность всех других усилителей.

3. При выходе из строя m усилителей из общего числа мощность в нагрузке должна упасть на возможно меньшее значение, в лучшем случае — не более чем на $mP_{НОМ}$.

Чаще всего сложение мощностей СВЧ усилителей осуществляют с помощью так называемых мостовых устройств, обеспечивающих попарное сложение сигналов. Главным образом используют мостовые устройства, относящиеся к классу направленных ответвителей (НО), т.е. это восьмиполосники, предназначенные для направленного ответвления энергии, отличительная особенность которых заключается в следующем: при возбуждении одного из четырех каналов НО энергия поступает только в два канала. Такой же НО может использоваться и для обратной процедуры — деления мощности в два раза (т.е. уменьшения мощности на 3 дБ).

Возможны различные варианты построения схем транзисторных передатчиков со сложением мощностей усилителей на основе мостовых устройств. При этом число складываемых усилителей мощности должно равняться $2n$, что обеспечивается применением $(2n - 1)$ мостовых устройств. Используя различные варианты многополосных сумматоров-делителей, реализуют устройства сложения мощностей большого числа СВЧ усилителей. Такие устройства состоят из трех основных частей: делителя мощности сигнала, n одинаковых СВЧ усилителей и сумматора мощности.

Для примера на рис. 3.3 показана схема сложения мощностей четырех усилителей, построенная на основе квадратурных мостовых устройств с вынесенными балластными нагрузками. Эту схему, которая позволяет складывать сигналы достаточно большой мощности, нетрудно распространить и на большее число попарно складываемых одинаковых усилителей или блоков усилителей.

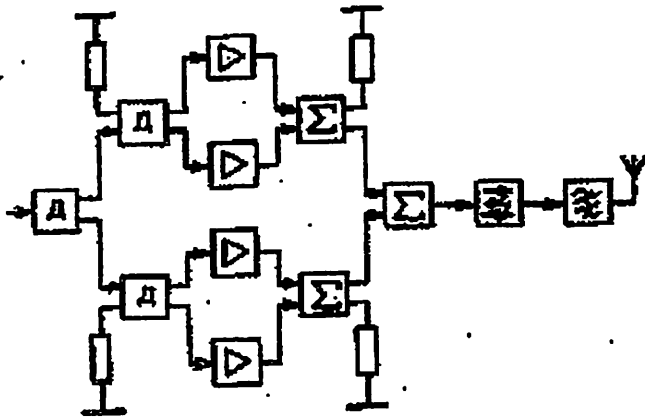


Рис. 3.3. Схема сложения мощностей четных усилителей:
Д - делитель; Σ - сумматор

Важным обстоятельством при составлении схем сложения мощностей отдельных усилителей является выполнение требования по фазированию складываемых сигналов. Для этого используют идентичные по структуре делители (Д) и сумматоры (Σ), включая их сопряженно. В таком случае не требуются дополнительные фазовращатели. Приведенная схема типична для транзисторных модулей, построенных по гибридно-интегральной технологии. Практически с помощью многополосных сумматоров осуществляется сложение мощностей 50...100 полупроводниковых приборов, причем обычно сначала объединяют в модуль четыре транзистора, а затем складываются мощности 8...16 таких модулей в зависимости от требуемой выходной мощности усилителя.

Входные приемные устройства БРТР

Общие сведения. Входные приемные устройства обеспечивают необходимое соотношение сигнал-шум стволов БРТР. Минимальный уровень принимаемых сигналов определяется собственными флуктуационными (тепловыми) шумами приемного устройства. На практике при выборе эффективной шумовой температуры исходят, с одной стороны, из условия, что вклад шумов участка Земля-спутник в 5...10 раз меньше шума участка спутник-Земля, а с другой стороны, минимальная эффективная шумовая температура приемной системы ИСЗ не может быть меньше эквивалентной температуры Земли ТЗ, поскольку приемные антенны ИСЗ ориентированы в ее сторону.

Шумовая температура, входного приемного устройства БРТР (приведенная ко входу облучателя приемной антенны)

$$T_6 = T_3 + T_{\text{атм}} + bT_{\text{косм}} + T_{\text{пр}}$$

где $T_{\text{атм}}$ — эквивалентная температура шумов атмосферы, для антенн стационарных ИСЗ в диапазоне 1...20 ГГц изменяется в пределах 2...25°; $T_{\text{косм}}$ — эквивалентная температура космических шумов — зависит от области неба, в которую направлена антенна, и может быть определена по специальным картам неба; максимальные значения на частоте 1 ГГц не превышают 30° и резко падают с увеличением частоты; b — коэффициент, существенно меньший единицы, определяющий факт приема космических шумов только боковыми лепестками; $T_{\text{пр}}$ — шумовая температура приемника БРТР.

Практический вывод относительно выбора T_6

$$T_6 = (5...10)T_{\text{прЗС}}$$

где $T_{\text{прЗС}}$ — шумовая температура приемника ЗС, работающей с данным ИСЗ. Входные приемные устройства современных ЗС при использовании мал шумящих усилителей различного типа в диапазонах спутниковой связи имеют суммарную шумовую температуру 40...300°. В этих случаях соответственно суммарная шумовая температура T_6 может находиться в пределах 400...3000 К.

В таблице 3.1 приведены параметры МШУ, применяемых для БРТР.

Таблица 3.1.

Параметры малошумящих усилителей.

Диапазон частот приема, ГГц	Коэффициент шума, дБ	Коэффициент усиления, дБ
5,9...6,5	1,2...1,4	24,0...30,0
14,0...14,5	1,4...2,3	24,0...30,0
17,3...18,1	2,0...2,5	24,0...30,0

5. Расчет сеанса связи и трассы пролета ИСЗ

Задание:

- Научиться производить расчеты спутниковых линий связи, а также их основных систем по данным параметрам.
- Рассчитать эквивалентную изотропно-излучаемую мощность (ЭИИМ) передающей станции.

Методические указания к расчету:

1. По заданным величинам из таблицы 3.2 выписать исходные данные по варианту для расчета.

2. Рассчитайте коэффициент усиления передатчика $D_{\text{пер}}$:

$$D_{\text{пер}} = 10^{0,05 G_{\text{пер}}}, \text{ дБ} \quad (1)$$

3. Определите затухание энергии в свободном пространстве, определяемое уменьшением плотности потока мощности при удалении от излучателя:

$$L_0 = 4\pi d^2 / \lambda^2, \text{ дБ} \quad (2)$$

где λ – длина волны ($\lambda = c/f$, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с и $f = 14$ ГГц);
 d – наклонная дальность (расстояние между передающей и приемной антеннами).

4. Определите мощность передатчика по формуле:

$$P_{\text{пер}} = 4\pi d^2 L_0 \cdot P_{\text{пр}} / D_{\text{пер}} \cdot S_{\text{пр}} \cdot \eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{пр}}, \text{ Вт} \quad (4)$$

5. Рассчитайте эквивалентную изотропно-излучаемую мощность (ЭИИМ) передающей станции:

$$P_{\text{эиим}} = P_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{пер}} \cdot D_{\text{пер}}, \text{ Вт} \quad (5)$$

Пример расчета:

1. Исходные данные:

$$\begin{aligned} d &= 36000 \text{ км}, & S_{\text{пр}} &= 4 \text{ м}^2; \\ G_{\text{пер}} &= 25 \text{ дБ}, & \eta_{\text{пер}} &= 90\% \\ P_{\text{пр}} &= -120 \text{ дБВт}, & \eta_{\text{пр}} &= 90\% \end{aligned}$$

2. Расчет коэффициента усиления передатчика $D_{\text{пер}}$.

$$\begin{aligned} D_{\text{пер}} &= 10^{0,05 G_{\text{пер}}}, \text{ дБ}, \\ D_{\text{пер}} &= 10^{0,05 \cdot 25} = 17,78 \text{ дБ}. \end{aligned}$$

3. Определение затухания энергии в свободном пространстве, определяемого уменьшением плотности потока мощности при удалении от излучателя.

$$L_0 = 4\pi d^2 / \lambda^2 = (4\pi \cdot d \cdot f)^2 / c^2, \text{ дБ},$$

где d – наклонная дальность (расстояние между передающей и приемной антеннами), c – скорость света ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с) и f – частота передаваемого сигнала ($f = 14$ ГГц)

$$\begin{aligned} L_0 &= 4 \cdot 3,14 \cdot (36 \cdot 10^6 \cdot 14 \cdot 10^9)^2 / (3 \cdot 10^8)^2 = 3,2 \cdot 10^6 \cdot 10^{30} / 9 \cdot 10^{16} = \\ &= 36 \cdot 10^{18} \text{ дБ}. \end{aligned}$$

4. Определение мощности передатчика:

$$P_{\text{пер}} = 4\pi d^2 L_{\text{доп}} \cdot P_{\text{пр}} / D_{\text{пер}} \cdot S_{\text{пр}} \cdot \eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{пр}}, \text{ Вт}$$

где $L_{\text{доп}}$ – дополнительные потери (принимается равным 1 дБ) и $P_{\text{пр}}$ – уровень мощности приемника, дБВт, что необходимо перевести в Вт по формуле: $P (\text{Вт}) = 1 \text{ Вт} \cdot 10 (P (\text{дБВт}) / 10)$;

$$P_{пр} = 10^{12} \text{ Вт}$$

$$P_{пер} = 4 \cdot 3,14 \cdot 1296 \cdot 10^{12} \cdot 1 \cdot 10^{12} / 17,78 \cdot 4 \cdot 0,9 \cdot 0,9 = 282 \cdot 10^6 \text{ Вт} = 282 \text{ Вт}$$

5. Расчет эквивалентной изотропно-излучаемой мощности (ЭИИМ) передающей станции:

$$P_{эиим} = P_{пер} \cdot \eta_{пер} \cdot D_{пер}, \text{ Вт}$$

$$P_{эиим} = 282 \cdot 0,9 \cdot 17,78 = 4512 \text{ Вт} = 4,5 \text{ кВт}$$

Таблица 3.2.

Исходные данные по вариантам

Последняя цифра номера по журналу	d, км	G _{пер} , дБ	P _{пр} , дБВт	S _{пр} , м ²	η _{пер} , %	η _{пр} , %
1	36000	20	-120	3	85	87
2	37000	21	-120	3,5	86	88
3	38000	22	-120	4	87	89
4	39000	23	-120	4,5	88	90
5	40000	24	-120	3	89	91
6	36000	25	-120	3,5	90	85
7	37000	20	-120	4	91	86
8	38000	21	-120	4,5	85	87
9	39000	22	-120	3	86	88
0	40000	23	-120	3,5	87	89

Контрольные вопросы

1. Поясните структурную схему БРТР.
2. Какая элементная база используется для построения мощных выходных усилителей БРТР?
3. Как связаны выходная мощность и КПД ЛБВ с частотой?
4. Каковы преимущества твёрдотельных передатчиков БРТР по сравнению с электровакуумными?
2. Чем определяется эффективность работы передатчика построенного по методу суммирования мощностей?
2. Поясните назначение входных приёмных устройств БРТР?
3. Дайте характеристику основных параметров маломощных усилителей (МШУ).

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4

ИЗУЧЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ МНОГООСТВОЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

1. Цель работы

Изучение структуры и принципов построения многоствольной спутниковой связи земных и космических станций.

2. Задание

1. Ознакомиться с принципом использования искусственных спутников Земли в качестве ретрансляторов для систем связи.
2. Ознакомиться с основными принципами построения многоствольных ретрансляторов.
2. Рассчитать пропускную способность и составить план частот ствола одной несущей, с учетом необходимых при МДЧР защитных частотных интервалов.
3. Составить отчёт.

3. Содержание отчета

1. Назначение и цель работы.
2. Принципы построения и особенности ССС в составе земных и космических станций.
2. Упрощенные структурные схемы орбитального одноствольного и многоствольного ретранслятора.
3. Упрощённая структурная схема многоствольного ретранслятора Земной станции с примерами.
4. Расчет пропускной способности
5. План частот ствола

4. Краткая теория

4.1. Искусственные спутники Земли в качестве ретрансляторов для систем связи

Задачи увеличения дальности и пропускной способности систем связи всегда были основополагающими проблемами данной области техники. К сожалению, соответствующие характеристики, как правило, оказываются альтернативными: мероприятия по увеличению пропускной способности приводят к сокращению дальности, и наоборот. В частности, повышение пропускной способности требует перехода на все более высокочастотные диапазоны волн, сигналы которых могут быть непосредственно переданы практически лишь на расстояния прямой видимости. Как средство разрешения этого противоречия, могут быть использованы ретрансляторы, поднятые достаточно высоко над поверхностью Земли.

Успехи развития космонавтики позволили использовать в качестве таких ретрансляторов ИСЗ. Поскольку они могут располагаться практически сколь угодно высоко над Землей, их область обслуживания может охватывать не только отдельные страны или моря, но и целые континенты и океаны. В общем случае спутники движутся по эллиптическим орбитам, в одном из фокусов которых располагается центр Земли. Спутник перемещается относительно наземного наблюдателя, а вместе с ним и область обслуживания перемещается по темной поверхности. В результате следует либо увеличивать число спутников в системе, либо согласиться с тем, что круглосуточная связь обеспечиваться не будет.

Улучшение ситуации может быть достигнуто, если орбиту спутника выбрать так, чтобы период обращения спутника вокруг Земли находился в простом соотношении с периодом ее обращения вокруг своей оси (синхронные орбиты). Использование таких орбит приводит к постоянному расписанию возможных сеансов связи, поскольку для любого наземного наблюдателя спутник-ретранслятор (СР) появляется в данной точке небесной сферы периодически, постоянно в одно и то же время.

Дальнейшие упрощения спутниковых систем связи наступают если:

- орбита спутника является круговой и лежит в плоскости экватора;
- период обращения спутника по орбите составляет ровно одни сутки.

Такой спутник вообще остается неподвижным относительно любого наземного наблюдателя. Соответствующая орбита именуется *геостационарной* (ГСО), а движущийся по ней спутник — *стационарным*. ГСО имеет радиус приблизительно 42,3 тыс. км. Она уникальная и единственная, поэтому размещение спутников на ней жестко контролируется между народными организациями во главе с действующим пол эгидой ООН Международным союзом электросвязи (МСЭ). Той же организации поручена международная координация и других спутниковых систем связи с целью рационального ограничения взаимного влияния между ними.

Хотя в настоящее время подавляющая часть используемых СР являются стационарным и, они не лишены существенных недостатков. Именно такие спутники лучше всего приспособлены для обслуживания тропических и субтропических регионов. По мере продвижения наблюдателя на поверхности Земли от подспутниковой точки вдоль меридиана к полюсам Земли, угол места направления на стационарный космический аппарат (КА) уменьшается, достигая нулевого значения для широты 82° (северной или южной). Для более близких к полюсам точек подспутникового меридиана видимость спутника вообще отсутствует. Легко понять, что граница геометрической видимости стационарного КА при отклонении наблюдателя от подспутникового меридиана опускается в направлении к экватору. Кроме того, работа радиолиний в направлениях с малыми углами места вообще резко затрудняется как за счет приема отраженных от Земли сигналов, так и за счет экранирующего действия различных возвышений, леса, строений или других препятствии. Поэтому стационарные КА практически неспособны

обслуживать территории, лежащие севернее северного и южнее южного полярных кругов. Между тем эти территории часто представляют значительный интерес. Даже территория Северного полюса представляет значительный интерес, прежде всего в связи с тем, что через нее пролегают наиболее выгодные трассы ряда важнейших авиалиний.

Орбиты СР можно выбирать так, чтобы обеспечить преимущественное обслуживание тех или иных регионов на поверхности Земли. Так, в России была предложена эллиптическая орбита, специально приспособленная для обслуживания северных регионов нашей планеты. Апогей этой орбиты находится над северным полушарием на расстоянии приблизительно 40 тыс. км от поверхности Земли, а перигей лежит на высоте в несколько сотен километров над южным полушарием. Плоскость орбиты наклонена к экватору примерно на 65° . Период обращения спутника по этой орбите составляет половину суток, так что это синхронный спутник. За сутки он совершает два витка: первый из них, называемый *основным*, достигает апогея над Сибирью (в точке с географическими координатами $63^\circ 5'$ с.ш. и 81° в.д.), а второй — сопряженный — в точке с той же широтой, но сдвинутой по долготе на 180° , т.е. 99° з.д. (над Канадой). Параметры этой орбиты выбраны так, что & примыкающей к апогею части орбиты скорость углового перемещения спутника в направлении «восток-запад» совпадает с таковым для Земли. Это условие приблизительно выполняется на всем рабочем участке орбиты (от трех-четырех часов до достижения апогея до трех-четырёх часов после его прохождения) и обеспечивает отсутствие перемещения спутника по отношению к любому наблюдателю на Земле в направлении «восток-запад».

На рабочем участке орбиты сравнительно небольшим оказывается и перемещение в направлении «север-юг». Эллиптическая орбита обеспечивает обслуживание северного полушария Земли, включая и область Северного полюса с достаточно большими углами места. Недостатком ее является необходимость использования системы из трех-четырех спутников для поддержания непрерывности связи в течение суток, что удорожает космический сегмент системы; также существенно, что при использовании эллиптических спутников на ЗС приходится обеспечивать слежение антенной за перемещениями КА, что удорожает и земной комплекс системы.

Спутник-ретранслятор (СР) должен принимать сигналы от земных станций (ЗС) системы связи, усиливать их и вновь передавать на те ЗС, которым они предназначены. Таким образом, СР содержит приемное и передающее оборудование для ретрансляции сигналов.

Поскольку сквозное усиление приемопередающего тракта СР должно быть достаточно большим, необходимо вести прием и передачу на разных частотах (в противном случае не удастся избежать самовозбуждения тракта). Таким образом, обязательным элементом тракта ретрансляции являются также преобразователи частоты.

Особенность ретрансляторов вещательной службы в том, что для них основным является передающий тракт, через который собственно и осуществляется вещание. На вещательных СР устанавливается и приемное оборудование, используемое для приема подаваемых на борт вещательных программ. Радиолиния подачи программ на борт именуется *фидерной*.

Спутник-ретранслятор, как всякий активный КА, кроме собственно тракта ретрансляции, именуемого по отношению к этому аппарату, *полезной нагрузкой* (ПН), содержит также и целый ряд вспомогательных систем, таких как система электропитания, система ориентации и стабилизации, система терморегулирования и управления. Последняя включает системы формирования и передачи телеметрической информации. КА за вычетом полезной нагрузки именуется *космической платформой* (КП). Такая платформа может использоваться в сочетании с различными ПН для создания ряда различных КА.

В настоящее время в интересах фиксированной и вещательной служб чаще всего используются стационарные СР. Типовые параметры платформ таких спутников:

- энерговооруженность до 5-7 кВт, причем для питания полезной нагрузки выделяется 1,5-2 кВт;
- масса порядка 2-3 т. в том числе полезной нагрузки 0,5-0,8 т;
- точность ориентации и стабилизации порядка 0,1 ;
- срок активного существования 12-15 лет.

Наряду с типовыми КА в настоящее время считается перспективным использование в интересах фиксированной службы малых КА (МКА) с массой 500-800 кг (в том числе ПН 100-200 кг) и энерговооруженностью 1,8-2,5 кВт. Достоинство МКА — возможность группового или попутного (вместе с типовым КА) запуска, что существенно снижает расходы на выведение. МКА могут запускаться в те точки, где уже расположены другие СР и обеспечивать необходимое дополнение работающих на них стволов или замену стволов, вышедших из строя. На них могут строиться также национальные системы спутниковой связи сравнительно небольших или небогатых стран.

В зависимости от состава пользователей СР делятся на международные и национальные. Наиболее известные международные СР фиксированной службы Intelsat и Eutelsat. Существенными ресурсами владеет также международная компания Интерспутник. СР Eutelsat содержат также стволы, чаще всего используемые европейскими странами для телевизионного вещания. Специально для этих целей используется спутниковая система Astra.

Национальная система спутниковой фиксированной службы России в настоящее время использует СР типа «Экспресс», а также «Ямал» различных модификаций.

4.2. Тенденции развития ССС

Последние достижения технологии в области спутниковой связи говорят о больших потенциальных возможностях ССС в расширении пропускной способности каналов передачи, разработке и внедрении новых служб связи. Будущее ССС за широкополосными широкоэшелательными приложениями и спутниковыми системами подвижной связи.

В ряды крупных консорциумов и организаций, ориентированных на геосинхронные спутники, активно вливаются новые участники, предлагающие услуги сетей подвижной связи и использующие низкоорбитальные спутниковые системы (LEO – Low Earth Orbit). Системы LEO, разрабатываемые рядом американских фирм, используют большое число легких спутников на орбитах ниже 2 тыс. км для организации услуг по передаче сообщений и речи, определению местонахождения и срочных коммуникаций между мобильными терминалами. В отличие от наземных сотовых сетей подвижной связи, в которых абонент последовательно перемещается через смежные соты небольшого размера, в системе LEO подобная «сота» ограничена лишь горизонтом Земли. Низкая орбита спутника резко сокращает задержку по сравнению с системами, ориентированными на геосинхронные орбиты спутников

В заключение отметим, что ССС постоянно и ревниво сравниваются с волоконно-оптическими сетями связи. Внедрение этих сетей ускоряется в связи с быстрым технологическим развитием соответствующих областей волоконной оптики, что заставляет задаться вопросом о судьбе ССС. Например, разработка и, главное, внедрение конкатенирующего (составного) кодирования резко уменьшает вероятность возникновения неисправленной побитовой ошибки, что, в свою очередь, позволяет преодолеть главную проблему ССС – туман и дождь.

4.3. Космические станции

Космическая станция содержит ретранслятор и системы обеспечения: источники энергоснабжения, системы ориентации антенн (на Землю) и солнечных батарей (на Солнце), системы коррекции положения ИСЗ на орбите и др.

Аппаратура КС должна иметь минимальную массу и габариты, высокую надежность и потреблять малую мощность. Ретрансляторы КС, как правило, многоствольные. Они состоят из приемопередающей аппаратуры и антенн. Структурные схемы стволов ретранслятора подобны применяемым на ПРС РРЛ. В зависимости от схемы ствола различают ретрансляторы гетеродинного типа, ретрансляторы с одним преобразованием частоты и ретрансляторы с обработкой сигнала на борту. Кроме демодуляции и модуляции, на КС применяют и другие многообразные способы обработки сигнала. Например, при МДВР после демодуляции на КС может быть предусмотрено разделение каналов с последующим объединением их на новой основе. При этом сообщения, адресованные станции i всеми другими

ЗС, объединяют и передают по линии «вниз» в одном пучке. В системах МДВР-КБ на борту происходит коммутация сигналов.

В мощном ретрансляторе гетеродинного типа (рис. 4.1) частота входного сигнала понижается в смесителе $UZ1$, а затем после усиления в УПЧ $A1$ вновь повышается в смесителе $UZ2$. Гетеродинные тракты $ГТ1$ и $ГТ2$ выполнены по аналогичным схемам. Для усиления СВЧ сигнала служат предварительный $A3$ и выходной $A4$ усилители мощности. Выходная мощность достигает 200... 300 Вт. Подобную схему имеет ретранслятор на спутнике «Экран». В нем $A4$ выполнен на пролетном клистроне. В схеме принято «холодное» резервирование всех блоков. Переключатели $K1$ – $K3$ по команде с Земли выбирают рабочий комплект. Одновременно на него начинает поступать питающее напряжение.

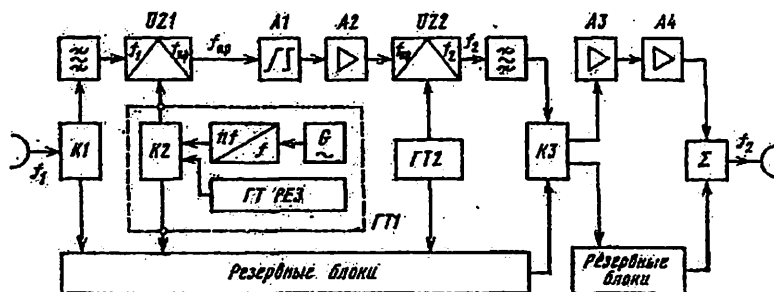
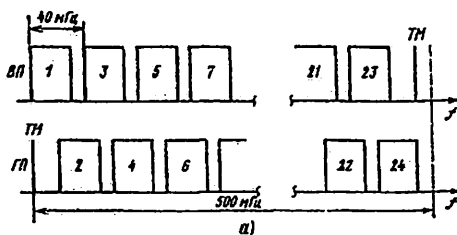


Рис. 4.1. Структурная схема мощного одноствольного ретранслятора.

Современные многоствольные ретрансляторы выполняют так, чтобы получить максимальную пропускную способность. В полосе 500 МГц, отводимой на один ИСЗ, можно разместить спектры сигналов 12 стволов. Обычно полоса ствола – 36 МГц, а ЗЧИ между стволами – 4 МГц. Чтобы увеличить вдвое емкость ретрансляторов, вдвое уменьшают разнос между несущими соседних стволов, а необходимую развязку между перекрывающимися по спектру сигналами получают за счет поляризации.



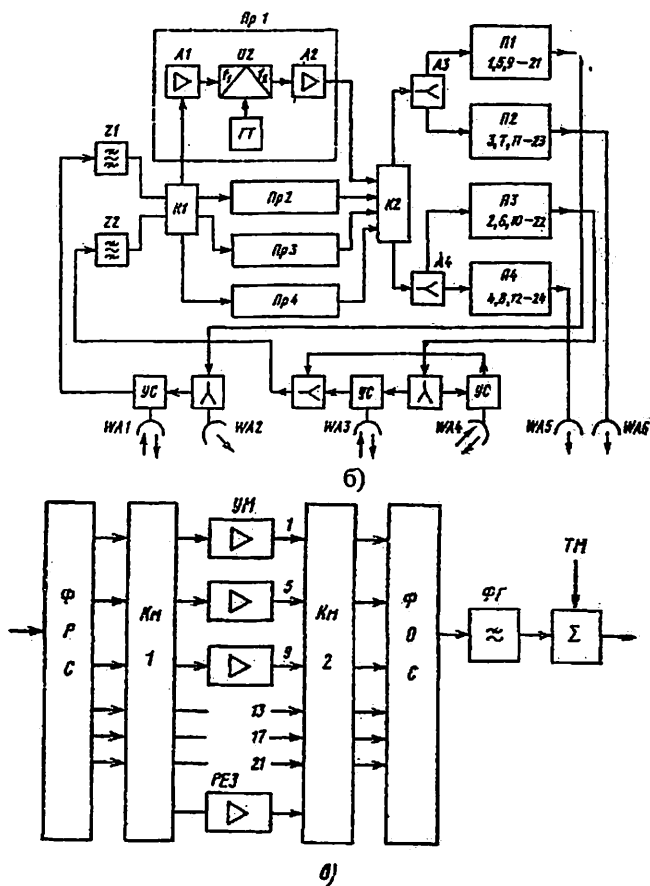


Рис. 4.2. К построению многоствольных ретрансляторов:
 а – план частот; б – структурная схема ретранслятора на 24 ствола;
 в – структурная схема передающего устройства

Для всех нечетных стволов (рис 4.2,а) берут, например, вертикальную поляризацию (ВП), а для четных – горизонтальную (ГП). Напомним, что применение линейной поляризации возможно в ИСЗ с жесткой стабилизацией на орбите. В той же полосе частот передают сигналы телеметрии (ТМ). Ретранслятор (рис. 4.2,б) имеет шесть антенн, причем WA1, WA2 и WA6 работают с волнами вертикальной поляризации, WA3, WA4 и WA5 – горизонтальной, где антенны WA1, WA3, WA5, WA6 – глобальные; WA2, WA4 –узконаправленные. Устройства совмещения (УС) служат для разделения волн приема и передачи. Итак, на ПФ Z1 приходят сигналы нечетных стволов. Оттуда они поступают в приемник Пр1, а затем

через разветвитель АЗ в передающие комплекты П1 и П2 и в антенны. Сигналы четных стволов проходят через ПФ Z2, приемник Пр2, передающие комплекты ПЗ и П4 и поступают в антенны. Минимальный частотный разнос между сигналами передатчиков, подключенных к одной антенне, составляет 80 МГц. Приемник содержит МШУ А1, смеситель UZ, ГТ и УСВЧ А2. В ретрансляторе применено однократное преобразование частоты. Переключатели К1 и К2 позволяют выбрать в качестве рабочих любые два приемника. Такое резервирование надежнее публочного. Передающий комплект (рис. 4.2,в) содержит фильтр разделения стволов ФРС, коммутаторы входной Км 1 и выходной Км 2, усилители мощности рабочие (по одному на каждый ствол) и резервные, фильтры объединения стволов ФОС и фильтр гармоник ФГ. Кроме того, на рис. 2,в показано устройство 2, предназначенное для введения сигналов телеметрии.

Первые ИСЗ с полностью полупроводниковой электронной аппаратурой появились в начале 80-х годов. Применение транзисторных УМ позволяет существенно улучшить электрические характеристики и надежность передающего тракта ствола, уменьшить массу и энергопотребление. Напомним, что во многих существующих ретрансляторах с выходной мощностью до нескольких десятков ватт УМ выполнены на ЛБВ, а число стволов в таких ретрансляторах составляет 6–12.

На рис. 2,б показано шесть антенн. Практически их можно реализовать в виде двух МЛА, каждая из которых имеет три (или более) разные диаграммы направленности. Для волн ВП и ГП применяют отдельные антенны. На рис. 2,б антенны закреплены за передатчиками и приемниками. В усовершенствованном варианте КС между антеннами и приемопередающей аппаратурой устанавливают антенные коммутаторы, которые позволяют по команде с Земли выбирать любую антенну (в МЛА – любую ДН) для приема и передачи, конечно, с учетом поляризации.

4. Земные станции

Земные станции подразделяют на передающие, приемные систем спутникового вещания, а также приемопередающие, предназначенные для организации дуплексной телефонной связи и для работы в сети обмена ТВ программами. Приемопередающие ЗС обычно являются многоствольными.

Сигналы в ТФ стволе передаются методом ОКН-ЧМ-МДЧР. Центральная частота этого сигнала на выходе стойки В $f_{\text{пр}} = 70$ МГц. В приемной части аппаратуры «Градиент-Н» происходит усиление сигнала ПЧ, разделение 200 ЧМ сигналов, каждый из которых передается на своей несущей, и их демодуляция. На выходе приемного устройства «Градиент-Н» получают ТФ сигналы.

Телефонные сигналы поступают на вход передающей части аппаратуры «Градиент-Н», в которой формируется сигнал ОКН-ЧМ-МДЧР в полосе частот 70 ± 17 МГц. Этот сигнал поступает на передатчик ТФ ствола ЗС. В составе передатчика делитель мощности ПЧ А8, волноводные переключатели К3 и К4, два блока преобразователя частоты и два блока УМ. Вторые блоки – резервные. Блок преобразователя частоты содержит МУПЧ А7, преобразователь частоты U2 и предварительный УМ А6. Блок УМ содержит выходной УМ А5 и фильтр гармоник Z4. Работой переключателей К3 и К4 управляют АС, поступающие от блока контроля передатчика (на рис. не показан). Таким образом, между входом передающей части аппаратуры «Градиент-Н» на передающей ЗС и выходом приемной части аппаратуры «Градиент-Н» приемной ЗС организован канал ТЧ.

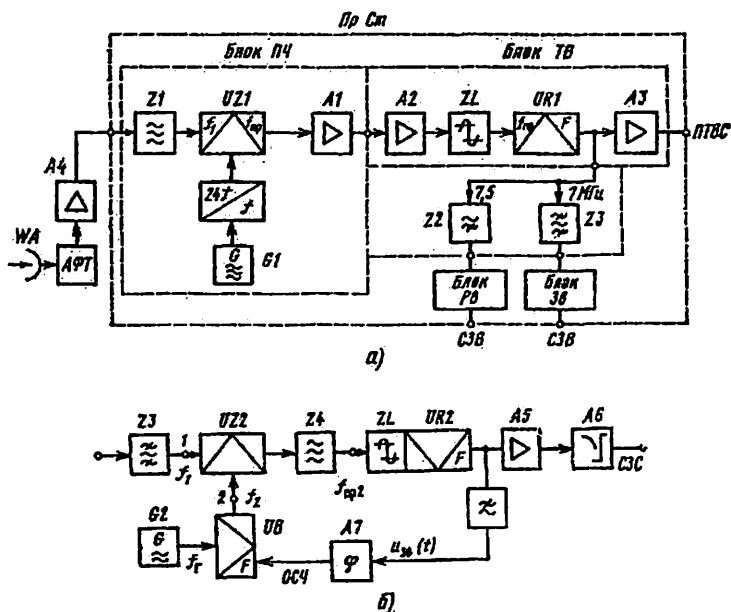


Рис. 4.4. Структурная схема ЗС «Москва»: а – укрупненная; б – схема блока звука

Групповой сигнал ТВ ствола формирует передающая аппаратура стойки РС. Передатчик ТВ ствола содержит модулятор УВ. В остальном схемы передатчиков ТВ и ТФ стволов аналогичны. Для подачи передаваемых СВЧ сигналов нескольких стволов в общий АФТ служит блок РФ. На ЗС работают передающие устройства типа «Градиент», «Геликон», «Грунт».

Приемная ЗС «Москва» (рис. 4.4) содержит антенну WA, АФТ, МШУ А4 и приемную стойку Пр. Ст. В составе приемной стойки показан блок ПЧ и блок ТВ, фильтры для разделения ЧМ сигналов, передаваемых на поднесущих частотах 7 и 7,5 МГц, блок Зв для выделения СЗС и блок Рв для выделения СЗВ. Блок ПЧ предназначен для преобразования частоты входного сигнала в смесителе UZ1, который конструктивно совмещен с ПУПЧ А1. Блок ТВ содержит главный УПЧ А2, частотный демодулятор, состоящий из АО ZL и ЧД UR1, и выходной усилитель А3. В схему А3 включены режекторные фильтры для подавления сигналов, передаваемых на поднесущих частотах 7 и 7,5 МГц. На выходе выделяют ПТВС.

В блоке Зв (рис. 4.4,б) и Рв применены порогопонижающие демодуляторы. Они содержат частотный демодулятор СЗС UR2, вспомогательный преобразователь частоты, состоящий из смесителя UZ2, генератора G2, ФБП Z4, и цепь обратной связи по частоте ОСЧ. В составе цепи ОСЧ – частотный модулятор УВ и фазовый корректор А7. Кроме того, в составе блока – выходной усилитель А5 и ВК А6. Частота ЧМ сигнала на входе блока звука

$$f_1 = f_{ЗВ} + \Delta f_{мЗВ} u_{ЗВ}(t)$$

где $f_{ЗВ} = 7$ МГц; $\Delta f_{мЗВ}$ – максимальная девиация, развиваемая СЗС; $u_{ЗВ}(t)$ – напряжение СЗС, причем $|u_{ЗВ}(t)| \leq 1$.

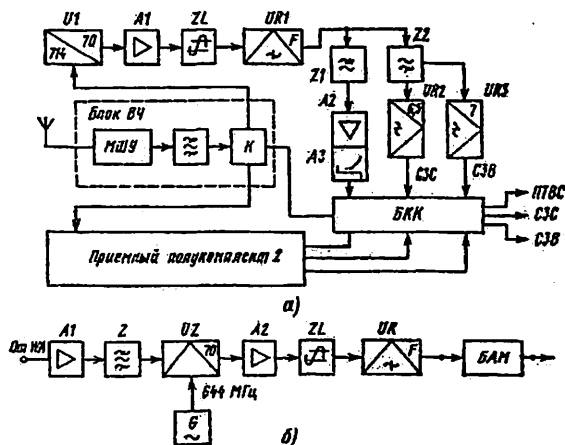


Рис. 4.5. Структурная схема приемника «Экран» 1 класса (а)
«Экран» 2 (б) класса

Напряжение $u_{3B}(t)$, выделенное на выходе UR2, поступает на UB. Частота колебаний на выходе UB:

$$f_2 = f_r + A \Delta f_{m3B} u_{3B}(t),$$

где f_r — частота колебаний G2; A — коэффициент передачи цепи ОСЧ. Частота колебаний на выходе ZA.

$$f_{np2} = f_1 - f_2 = f_{np2}^* + (1-A) \Delta f_{m3B} u_{3B}(t),$$

где $f_{np2}^* = f_{3B} - f_r$. С помощью корректора А7 подбирают фазу СЗС на входе UB так, чтобы при возрастании частоты сигнала на входе / смесителя возрастала бы частота колебаний на входе 2. В этом случае $A > 0$ и $(1-A) \Delta f_{m3B} < \Delta f_{m3B}$, т.е. девиация частоты на выходе смесителя меньше, чем на его входе. Поэтому ПФ Z4 может иметь более узкую полосу пропускания, чем ПФ Z3. В таком случае Z4 будет определять шумовую полосу приемника звука и пороговую мощность входного сигнала. Видим, что применение ОСЧ снижает порог ЧМ приемника. Поэтому последний может принимать более слабые сигналы. Это позволяет снизить уровень колебаний поднесущих частот на передаче, т.е. уменьшить загрузку общего тракта.

Профессиональный приемник системы «Экран» (1-го класса) (рис. 4.5,а) состоит из блока ВЧ, двух идентичных приемных полукомплектов (рабочего и резервного) и блока контроля и коммутации (БКК). В составе блока ВЧ — транзисторный МШУ, ПФ и диодный переключатель К. Включение ПФ, являющегося пассивным элементом схемы, после МШУ, позволяет уменьшить T_3 приемника. Приемные полукомплекты выполнены по стандартной схеме приемника ЧМ сигналов. На выходе ЧД UR1 установлены фильтры Z1 и Z2 для разделения ПТВС и ЧМ сигналов (СЗС и СЗВ). ЧД СЗС UR2 и ЧМ СЗВ UR3. Выделенный фильтром Z1, ПТВС поступает на выходной усилитель А2 и ВК-А3. Последний необходим, поскольку на передающей ЗС ПТВС подвергается предскажениям. С помощью БКК и переключателя К происходит автоматический выбор рабочего полукомплекта.

Абонентский приемник системы «Экран» (2-го класса) выполнен по стандартной схеме приемника ЧМ сигналов, которая дополнена блоком амплитудного модулятора (БАМ) (рис. 4.5,б).

Блок АМ преобразует выходной сигнал ЧД UR (рис. 4.6,а) в радиосигнал вещательного телевидения с несущей f_i (рис. 4.6,б), состоящей из АМ радиосигнала изображения f и ЧМ радиосигнала звукового сопровождения 2.

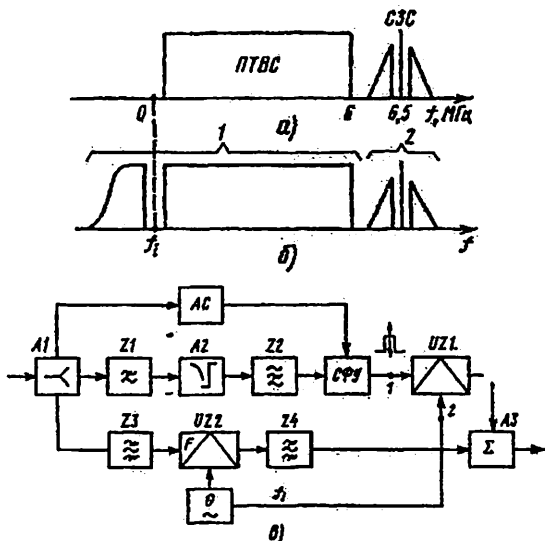


Рис. 4.6. К пояснению работы блока АМ: спектры сигналов на входе блока АМ(а) и на его выводе (б); структурная схема блока (в)

На входе БАМ (рис. 4.6,в) установлен каскад с разделенной нагрузкой А1. Фильтр Z1 выделяет ПТВС, который после дополнительной обработки поступает на вход 1 амплитудного модулятора UZ1. В схему включены ВК А2 и режекторный фильтр Z2, настроенный на частоту 6,5 МГц и предназначенный для более эффективного подавления СЗС, передаваемого на поднесущей частоте. Чтобы уменьшить нелинейные искажения сигнала на выходе БАМ, на UZ1 подают ПТВС с восстановленной постоянной составляющей. Восстановление выполняет типовая управляемая схема фиксации уровня (СФУ). Управляющие импульсы для нее амплитудный селектор (АС) вырабатывает из синхроимпульсов входного ПТВС. На второй вход UZ1 поступает несущая от автогенератора G, создающего колебания частоты f_1 . Выполнен АМ по балансной схеме, так что на его выходе получают АМ сигнал с подавленной несущей и частично подавленной нижней боковой полосой (сигнал 1 на рис. 4.6,б).

Фильтр Z3, настроенный на частоту 6,5 МГц, выделяет ЧМ сигнал звукового сопровождения. Этот сигнал поступает на преобразователь частоты СЗС, состоящий из смесителя UZ2, ФБП и автогенератора G. Фильтр Z4 выделяет ЧМ СЗС со средней частотой $f = f_1 + 6,5 \text{ МГц}$ (сигнал 2 на рис. 4.6,в). В выходном каскаде А3 оба сигнала объединяются.

5. Расчет пропускной способности и составление плана частот ствола

Задание:

- Определить скорость передачи в радиоканале на различных этапах прохождения потока.
- Определить полосу частот, требуемую для передачи одной несущей, с учетом необходимых при МДЧР защитных частотных интервалов.
- Произвести энергетический расчет общего ослабления энергии радиоволн на каждом участке.

Методические указания к расчету:

1. По заданным величинам из таблицы 4.1 выписать исходные данные для расчета.

2. На передающем конце СЛС (спутниковая линия связи) (на передающей ЗС) и на приемном конце (на приемной ЗС) происходит преобразование скорости передачи цифрового сигнала в соответствии с рис.4.7:

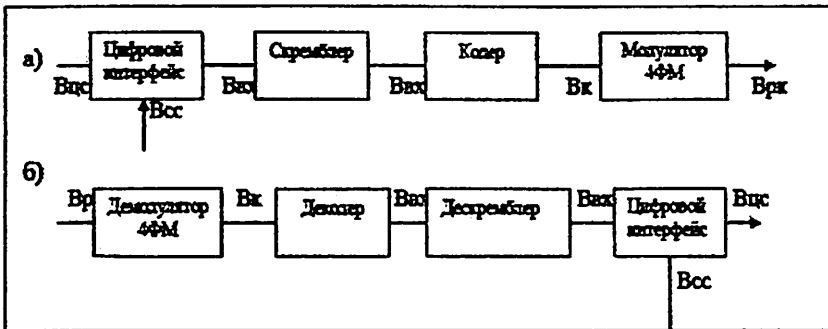


Рис. 4.7. Преобразование скорости цифрового потока:
а) на передаче, б) на приеме

- где $V_{цс}$ – скорость передачи одного информационного потока (задана в исходных данных);
 $V_{вх}$ – скорость передачи входного потока;
 V_k – скорость передачи цифрового потока на выходе помехоустойчивого кодера с учетом скорости кодирования R (R задана в исходных данных);
 $V_{сс}$ – скорость передачи сигналов служебной связи;
 $V_{рх}$ – результирующая скорость передачи в радиоканале с модуляцией 4ФМ.

Определите скорость передачи в радиоканале на различных этапах прохождения потока по формулам:

$$V_{\text{вх}} = V_{\text{вс}} + V_{\text{сс}}, \text{ кбит/сек} \quad (1)$$

При IDR сигналы служебной связи с $V_{\text{сс}} = 96$ кбит/с добавляются, если $V_{\text{вс}} > 1544$ кбит/с.

При меньших $V_{\text{вс}}$, сигналы служебной связи не добавляются, т. е. $V_{\text{сс}} = 0$.

$$V_{\text{к}} = V_{\text{вх}} / R, \text{ кбит/сек} \quad (2)$$

где R – скорость кода (задана в исходных данных)

$$V_{\text{рк}} = V_{\text{к}} / \log_2 M, \text{ кбит/сек} \quad (3)$$

где $M = 4$ в случае использования модуляции 4ФМ;

3. Определите полосу частот, требуемую для передачи одной несущей, с учетом необходимых при МДЧР защитных частотных интервалов по формулам:

Ширина спектра модулированного радиосигнала численно равна результирующей скорости передачи с учетом коэффициента скругления спектра:

$$\Pi_{\text{с}} = V_{\text{рк}} (1 + \alpha), \text{ Гц} \quad (4)$$

где α – коэффициент скругления спектра (задан в исходных данных);
Полоса частот, требуемая для передачи одной несущей:

$$\Pi_1 = (1, 1 \dots 1, 3) \cdot \Pi_{\text{с}}, \text{ Гц} \quad (5)$$

4. Произведите энергетический расчет общего ослабления энергии радиоволн на каждом участке.

$$L_{\text{р}} = L_0 + L_{\text{доп}}, \text{ дБ} \quad (6)$$

здесь L_0 – ослабление сигнала в свободном пространстве:

$$L_0 = 20 \log ((4 \cdot \pi \cdot d) / \lambda), \text{ дБ} \quad (7)$$

где d – наклонная дальность;

λ – длина волны, $\lambda = c / f = 21,4$ мм

$$L_{\text{доп}} = L_{\text{атм}} + L_{\text{д}} + L_{\text{н}} + L_{\text{п}}, \text{ дБ} \quad (8)$$

где $L_{\text{атм}}$ – потери в спокойной атмосфере, ($L_{\text{атм}} = 0,15$ дБ);
 L_d – потери в осадках, дБ (в условиях «ясного неба» полагают $L_d = 0$);
 L_n – потери из-за неточности наведения антенн, ($L_n = 0,3$ дБ);
 L_p – поляризационные потери, ($L_p = 0,05$ дБ)

Пример расчета:

1. Исходные данные:

Скорость передачи одного информационного потока $V_{\text{ис}} = 1600$ кбит/с.

Скорость кода $R = 0,75$.

Коэффициент скругления спектра $\alpha = 0,5$ бит/(с·Гц).

Наклонная дальность $d = 30\,000$ км

2. Определение скорости передачи в радиоканале на различных этапах прохождения потока.

Так как $V_{\text{ис}} > 1544$ кбит/сек, то $V_{\text{св}} = 96$ кбит/сек.

$$V_{\text{св}} = V_{\text{ис}} + V_{\text{св}} = 1600 + 96 = 1696 \text{ кбит/сек}$$

$$V_k = V_{\text{св}} / R = 1696 / 0,75 = 2261,3 \text{ кбит/сек}$$

$$V_{\text{рк}} = V_k / \log_2 M = 2261,3 / \log_2 4 = 2261,3 / 2 = 1130,65 \text{ кбит/сек}$$

3. Определение полосы частот, требуемой для передачи одной несущей, с учетом необходимых при МДЧР защитных частотных интервалов.

Ширина спектра модулированного радиосигнала численно равна результирующей скорости передачи с учетом коэффициента скругления спектра:

$$P_c = V_{\text{рк}} (1 + \alpha) = 1130,65 \cdot (1 + 0,5) = 1696 \text{ Гц} = 1,7 \text{ кГц}$$

Полоса частот, требуемая для передачи одной несущей:

$$P_j = (1,1 \dots 1,3) \cdot P_c = 1,1 \cdot 1696 = 1865,6 \text{ Гц} = 1,87 \text{ кГц}$$

4. Энергетический расчет общего ослабления энергии радиоволн на каждом участке.

$$L_{\text{дон}} = L_{\text{атм}} + L_d + L_n + L_p = 0,15 + 0 + 0,3 + 0,05 = 0,5 \text{ дБ}$$

Ослабление сигнала в свободном пространстве:

$$L_0 = 20 \log \left((4 \cdot \pi \cdot d) / \lambda \right) = 20 \log \left((4 \cdot 3,14 \cdot 30\,000 \cdot 10^3) / 21,44 \cdot 10^3 \right) = 20 \log (17,57 \cdot 10^9) = 20 \cdot 10,24 = 204,9 \text{ дБ}$$

Общее ослабление энергии радиоволн на каждом участке:

$$L_p = L_0 + L_{\text{дон}} = 204,9 + 0,5 = 205,4 \text{ дБ}$$

Таблица 4.1

Исходные данные по вариантам

Последняя цифра номера по журналу	$V_{ис}$ кбит/с	R	α бит/(с·Гц)	d км
1	1444	0,5	0	30 000
2	1496	0,75	0,1	30 500
3	1564	0,875	0,2	31 000
4	1586	0,5	0,3	31 500
5	1600	0,75	0,4	32 000
6	1444	0,875	0,5	32 500
7	1496	0,5	0,6	33 000
8	1564	0,75	0,7	33 500
9	1586	0,875	0,8	34 000
0	1600	0,5	0,9	34 500

Контрольные вопросы

1. Приведите и поясните работу структурной схемы мощного одноствольного ретранслятора
2. Приведите и поясните работу структурной схемы ретранслятора на 24 ствола.
4. Приведите и поясните работу структурной схемы передающего устройства многоствольных ретрансляторов.
5. Приведите и поясните работу структурной схемы ЗС «Москва».
6. Приведите и поясните работу структурной схемы приемника ЗС «Экран».

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5

ИЗУЧЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ ODYSSEY И ICO

1. Цель работы

Изучение видов спутниковых систем и их орбит

2. Задание

1. Изучить космический и наземный сегмент и зоны обслуживания системы ODYSSEY.
2. Изучить международную систему ICO.
3. Сравнить системы Odyssey и ICO.
4. Рассчитать зависимости характеристик спутников от параметров долготы и угла раскрытия антенны.
5. Составление отчета

3. Содержание отчета

1. Назначение и цель работы.
2. Основные показатели спутниковых систем связи ODYSSEY и ICO.
4. Космический и наземный сегменты, зоны обслуживания, услуги системы Odyssey.
5. Космический и наземный сегменты, организация связи, услуги системы ICO.
6. Расчет зависимостей характеристик спутников от параметров долготы и угла раскрытия антенны

4. Система спутниковой связи

4.1. Организация спутникового ствола

Спутник - устройство связи, которое принимает сигналы от земной станции (ЗС), усиливает и транслирует в широкоэвещательном режиме одновременно на все ЗС, находящиеся в зоне видимости спутника. Спутник не инициирует и не терминирует никакой пользовательской информации за исключением сигналов контроля и коррекции возникающих технических проблем и сигналов его позиционирования. Спутниковая передача начинается в некоторой ЗС, проходит через спутник, и заканчивается в одной или большем количестве ЗС.

Система спутниковой связи состоит из трех базисных частей: космического сегмента, сигнальной части и наземного сегмента, на примере системы «Iridium» (рис. 5.1).

Космический сегмент охватывает вопросы проектирования спутника, расчета орбиты и запуска спутника. Сигнальная часть включает в себя вопросы используемого спектра частоты, влияния расстояния на организацию и поддержание связи, источники интерференции сигнала, схем

модуляции и протоколов передачи. Наземный сегмент включает размещение и конструкцию ЗС, типы антенн, используемых для различных приложений, схемы мультиплексирования, обеспечивающие эффективный доступ к каналам спутника. Космический сегмент, сигнальная часть и наземный сегмент поясняются в следующих разделах.

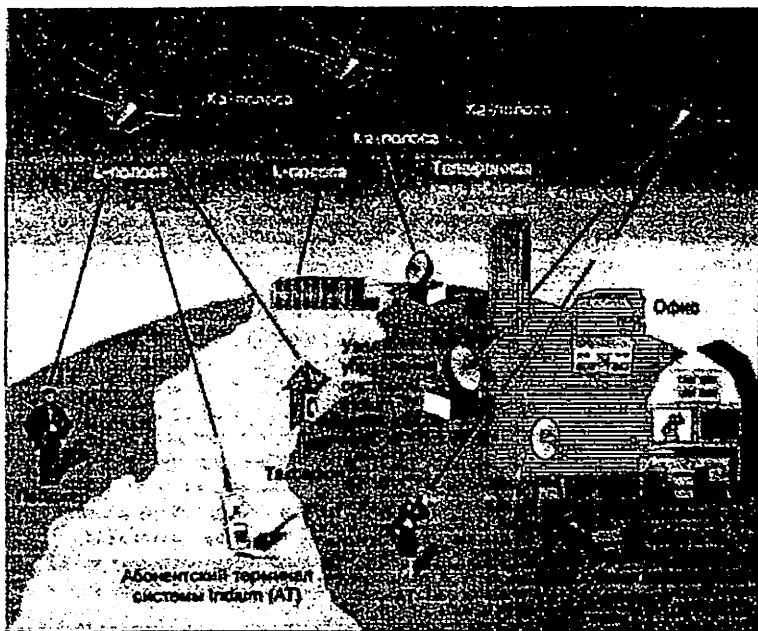


Рис. 5.1 Система "Iridium"

4.2. Космический сегмент.

Современные спутники связи, используемые в коммерческих ССС, занимают геосинхронные орбиты, в которых период орбиты равен периоду отметки на поверхности Земли. Это становится возможным при размещении спутника над заданным местом Земли на расстоянии 35800 км в плоскости экватора.

Большая высота, требуемая для поддержания геосинхронной орбиты спутника, объясняет нечувствительность спутниковых сетей к расстоянию. Длина пути от заданной точки на Земле через спутник на такой орбите до другой точки Земли в четыре раза больше расстояния по поверхности Земли между двумя ее максимально удаленными точками. В настоящее время наиболее плотно занятая орбитальная дуга равна 76° (приблизительно; 67° по 143° западной долготы). Спутники этого сектора обеспечивают связь стран Северной, Центральной и Южной Америки.

Главными компонентами спутника являются его конструкционные элементы; системы управления положением, питания; телеметрии, трекинга, команд; приемопередатчики и антенна (рис. 5.2).

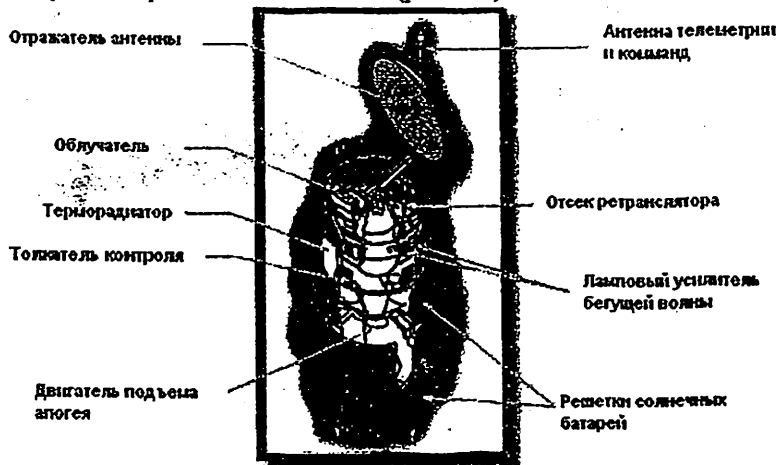


Рис. 5.2 Спутник со стабилизацией вращения

Структура спутника обеспечивает функционирование всех его компонентов. Предоставленный сам себе спутник в конечном счете перешел бы к случайным вращениям, превратившись в бесполезное для обеспечения связи устройство. Устойчивость и нужная ориентация антенны поддерживается системой стабилизации (рис. 5.3). Размер и вес спутника ограничены в основном возможностями транспортных средств, требованиям к солнечным батареям и объему топлива для жизнеобеспечения спутника (обычно в течение десяти лет).

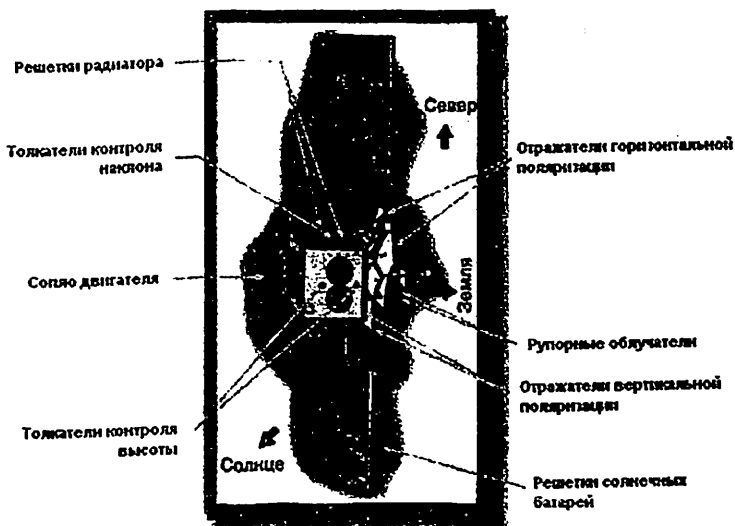


Рис. 5.3 Спутник с трехосевой стабилизацией

Телеметрическое оборудование спутника используется для передачи на Землю информации о его положении. В случае необходимости коррекции положения, на спутник передаются соответствующие команды, по получении которых включается энергетическое оборудование, и коррекция осуществляется.

4.3. Сигнальная часть

Ширина полосы

Ширина полосы (bandwidth) спутникового канала характеризует количество информации, которую он может передавать в единицу времени. Типичный спутниковый приемопередатчик имеет ширину полосы 36 МГц.

Обычно ширина полосы спутникового канала велика. Например, один цветной телевизионный канал занимает полосу 6 МГц. Каждый приемопередатчик на современных спутниках связи поддерживает полосу в 36 МГц, при этом спутник несет 12 или 24 приемопередатчиков, что дает в результате 432 МГц или 864 МГц, соответственно.

Спектр частот

Спутники должны преобразовывать частоту получаемых от ЗС сигналов перед ретрансляцией их к ЗС, поэтому спектр частот спутника связи выражен в парах. Из двух частот в каждой паре, нижняя используется для передачи от спутника к ЗС (нисходящие потоки), верхняя – для передачи от ЗС на спутник (восходящие потоки). Каждая пара частот называется полосой. Современные спутниковые каналы чаще всего применяют одну из двух полос: С-полосу (от спутника к ЗС в области 6 ГГц и обратно в области 4

ГГц), или Ku- полосу (14 ГГц и 12 ГГц, соответственно). Каждая полоса частот имеет свои характеристики, ориентированные на разные задачи связи пример в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Характеристики полос частот

Спутниковые диапазоны полос передачи, L (GHz)	Полоса, С (MHz)	Диапазон частот, Ku (GHz)	Доступная ширина, Ka (Hz)
1.6/1.5	15	6/4	500
14/12	500	30/120	2500

Большинство действующих спутников используют С-полосу. Передача в С-полосе может покрывать значительную область земной поверхности, что делает спутники особенно пригодными для сигналов широкосвязи. С другой стороны, сигналы С-полосы являются относительно слабыми и требуют развитых и достаточно дорогих антенн на ЗС. Важная особенность сигналов С-полосы – их устойчивость к атмосферному шуму. Атмосфера Земли почти прозрачна для сигналов в диапазоне 4/6 ГГц. К сожалению, этим же фактором обусловлено то, что сигналы С-полосы более всего подходят для наземных двухточечных микроволновых передач, портящих более слабые спутниковые сигналы. Данное обстоятельство заставляет размещать ЗС, использующие при передаче С-полосу, за много километров от городских центров и мест плотного проживания населения.

Передача в Ku- полосе имеет противоположные свойства. Луч при такой передаче сильный, узкий, что делает передачу идеальной для двухточечных соединений или соединений от точки к нескольким точкам. Наземные микроволновые сигналы никоим образом не влияют на сигналы Ku-полосы, и ЗС Ku-полосы могут быть размещены в центрах городов. Естественная большая мощность сигналов Ku-полосы позволяет обойтись меньшими, более дешевыми антеннами ЗС. К сожалению, сигналы Ku-полосы чрезвычайно чувствительны к атмосферным явлениям, особенно туману и сильному дождю. Хотя подобные погодные явления, как известно, воздействуют на небольшую область в течение краткого времени, результаты могут быть достаточно серьезны, если такие условия совпадут с ЧНН (час наибольшей нагрузки, например 4 часа пополудни, полдень пятницы).

Передача речи и данных

Мультиплексирование с разделением частот (FDM) широко используется для мультиплексирования нескольких речевых каналов или каналов данных на один спутниковый приемопередатчик.

В FDM волновая форма каждого индивидуального телефонного сигнала фильтруется для ограничения ширины полосы диапазоном звуковых

частот между 300 и 3400 Гц, затем преобразуется. Далее сигналы двенадцати каналов мультиплексируются в составной сигнал основной полосы. Каждая группа составлена из телефонных сигналов, размещенных в интервалах с шириной полосы равной 4 кГц. Затем несколько групп повторно мультиплексируются и формируют большую группу, которая может содержать от 12 до 3600 отдельных речевых каналов.

Мультиплексирование с временным разделением (TDM) – другой метод для передачи речи и /или данных по одному каналу. Если в FDM для передачи речевого сигнала (или данных) назначаются отдельные сегменты частоты внутри всей полосы, в методе TDM передача ведется по всей выделенной полосе частот. В исходящем канале повторяемые базовые временные периоды, называемые иногда фреймами (frame), разделены на фиксированное число тактов, которые выделяются последовательно для передачи сигналов входящих речевых каналов и каналов данных. Для предохранения от возможных потерь информации используются накопители (буферы).

4.4. Наземный сегмент

Технологическое развитие привело к значительному уменьшению размеров ЗС. На начальном этапе спутник не превышал нескольких сотен килограммов, а ЗС представляли собой гигантские сооружения с антеннами более 8 м в диаметре. Современные спутники весят несколько тонн, а антенны, зачастую не превышающие 1 м в диаметре, могут быть установлены в самых разнообразных местах. Тенденция уменьшения размеров ЗС вместе с упрощением установки оборудования приводит к снижению его стоимости. На сегодняшний день стоимость ЗС является, пожалуй, главной характеристикой, определяющей широкое распространение ССС. Преимущество спутниковой связи основано на обслуживании географически удаленных пользователей без дополнительных расходов на промежуточное хранение и коммутацию. Любые факторы, понижающие стоимость установки новой ЗС, однозначно содействуют развитию приложений, ориентированных на использование ССС. Относительно высокие издержки развертывания ЗС позволяют наземным волоконно-оптическим сетям в ряде случаев успешно конкурировать с ССС.

Следовательно, главное преимущество спутниковых систем состоит в возможности создавать сети связи, предоставляющие новые услуги связи или расширяющие прежние, при этом с экономической точки зрения преимущество ССС обратно пропорционально стоимости ЗС.

В зависимости от типа, ЗС имеет возможности передачи и/или приема. Как уже отмечалось, фактически все интеллектуальные функции в спутниковых сетях осуществляются в ЗС. Среди них – организация доступа к спутнику и наземным сетям, мультиплексирование, модуляция, обработка сигнала и преобразование частот. Отметим, наконец, что большинство проблем в спутниковой передаче решается оборудованием ЗС.

В настоящее время выделяются четыре типа ЗС. Наиболее сложными и дорогостоящими являются ориентированные на большую интенсивность пользовательской загрузки ЗС с очень высокой пропускной способностью. Станции такого типа предназначены для обслуживания пользовательских популяций, требующих для обеспечения нормального доступа к ЗС волоконно-оптических линий связи. Подобные ЗС стоят миллионы долларов (рис. 5.4).

Станции средней пропускной способности эффективны для обслуживания частных сетей корпораций. Размеры подобных сетей ЗС могут быть самыми разнообразными в зависимости от реализованных приложений (передача речи, видео, данных). Различаются два типа корпоративных ССС.

Развитая корпоративная ССС с большими капиталовложениями обычно поддерживает такие услуги, как видеоконференция, электронная почта, передача видео, речи и данных. Все ЗС сети имеют одинаково большую пропускную способность, а стоимость станции доходит до 1 млн. долларов.



Рис. 5.4. ЗС с высокой пропускной способностью.

Менее дорогостоящим типом корпоративной сети является ССС большого числа (до нескольких тысяч) микротерминалов (VSAT – Very Small Aperture Terminal), связанных с одной главной ЗС (MES – Master Earth Station). Данные сети ограничиваются обычно приемом/передачей данных и приемом аудио - видеослужб в цифровом виде. Микротерминалы общаются между собой посредством транзита с обработкой через главную ЗС. Топология таких сетей является звездообразной.

Четвертый тип ЗС ограничен возможностями приема. Это самый дешевый вариант станции, поскольку ее оборудование оптимизируется под предоставление одной или нескольких конкретных услуг. Данная ЗС может

быть ориентирована на прием данных, аудиосигнала, видео или их комбинаций. Топология также звездообразная.

4.5. Система Aloha

Влияние разработанного в Гавайском университете в начале 1970-х протокола множественного доступа Aloha (известного также под названием система Aloha) на развитие спутниковых и локальных сетей связи трудно переоценить.

В данной системе ЗС используют пакетную передачу по общему спутниковому каналу. В любой момент времени каждая ЗС может передавать только один пакет. Поскольку спутнику по отношению к пакетам отведена роль ретранслятора, всегда, когда пакет одной ЗС достигает спутника во время трансляции им другого пакета некоторой другой ЗС, обе передачи накладываются (интерferируют) и «разрушают» друг друга. Возникает требующая разрешения конфликтная ситуация.

В соответствии с ранним вариантом Aloha, известной под названием «чистая система Aloha», ЗС могут начать передачу в любой момент времени. Если спустя время распространения они прослушивают свою успешную передачу, то заключают, что избежали конфликтной ситуации (т.е. тем самым получают положительную квитанцию).

В противном случае они знают, что произошло наложение (или, быть может, действовал какой-либо другой источник шума) и они должны повторить передачу (т.е. получают отрицательную квитанцию). Если ЗС сразу же после прослушивания повторят свои передачи, то наверняка опять попадут в конфликтную ситуацию. Требуется некоторая процедура разрешения конфликта для того, чтобы ввести случайные задержки при повторной передаче, и разнести во времени вступающие в конфликт пакеты.

Другой вариант система Aloha состоит в разбиении времени на отрезки – окна, длина которых равна длине одного пакета при передаче (предполагается, что все пакеты имеют одну и ту же длину). Если теперь потребовать, чтобы передача пакетов начиналась только в начале окна (время привязано к спутнику), то получится двойной выигрыш в эффективности использования спутникового канала, т.к. наложения при этом ограничиваются длиной одного окна (вместо двух, как в чистой системе Aloha).

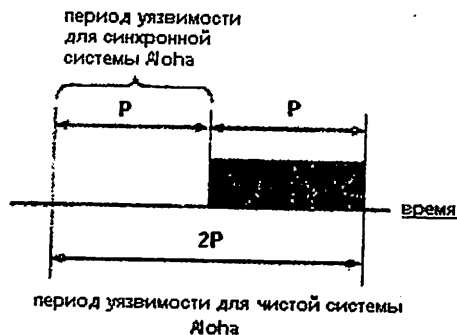


Рис. 5.5. Период уязвимости для системы Aloha

Третий подход базируется на резервировании временных окон по требованию ЗС.

Другим усовершенствованием системы Aloha может служить назначение приоритетов для ЗС с большой интенсивностью нагрузки.

4.6. Преимущества и ограничения ССС

ССС имеют уникальные особенности, отличающие их от других систем связи. Некоторые особенности обеспечивают преимущества, делающие спутниковую связь привлекательной для ряда приложений. Другие создают ограничения, которые неприемлемы при реализации некоторых прикладных задач.

ССС имеет ряд преимуществ:

Устойчивые издержки. Стоимость передачи через спутник по одному соединению не зависит от расстояния между передающей и принимающей ЗС. Более того, все спутниковые сигналы – широковещательные. Стоимость спутниковой передачи, следовательно, остается неизменной независимо от числа принимающих ЗС.

Широкая полоса пропускания. Малая вероятность ошибки. В связи с тем, что при цифровой спутниковой передаче побитовые ошибки весьма случайны, применяются эффективные и надежные статистические схемы их обнаружения и исправления.

Ряд ограничений в использовании ССС:

- **Значительная задержка.** Большое расстояние от ЗС до спутника на геосинхронной орбите приводит к задержке распространения, длиной почти в четверть секунды. Эта задержка вполне ощутима при телефонном соединении и делает чрезвычайно неэффективным использование спутниковых каналов при неадаптированной для ССС передаче данных.
- **Размеры ЗС.** Крайне слабый на некоторых частотах спутниковый сигнал, доходящий до ЗС (особенно для спутников старых поколений), заставляет увеличивать диаметр антенны ЗС, усложняя тем самым процедуру размещения станции.

- Защита от несанкционированного доступа к информации. Широковещание позволяет любой ЗС, настроенной на соответствующую частоту, принимать транслируемую спутником информацию. Лишь шифрование сигналов, зачастую достаточно сложное, обеспечивает защиту информации от несанкционированного доступа.
- Интерференция. Спутниковые сигналы, действующие в Ku- или Ka- полосах частот, крайне чувствительны к плохой погоде. Спутниковые сети, действующие в С-полосе частот, восприимчивы к микроволновым сигналам. Интерференция вследствие плохой погоды ухудшает эффективность передачи в Ku- и Ka- полосах на период от нескольких минут до нескольких часов. Интерференция в С-полосе ограничивает развертывание ЗС в районах проживания с высокой концентрацией жителей.

Влияние упомянутых преимуществ и ограничений на выбор спутниковых систем для частных сетей довольно значительно. Решение об использовании CCC, а не распределенных наземных сетей, всякий раз необходимо экономически обосновать. Все более возрастающую конкуренцию CCC составляют оптоволоконные сети связи.

5. Система ODYSSEY

Система Odyssey предназначена для обеспечения глобальной радиотелефонной связи и предоставления других видов услуг персональной связи. Стоимость проекта Odyssey составляет примерно 2,5 млрд. долларов.

Головным исполнителем является международная компания Odyssey Telecommunication International (OTI), а финансирует проект группа компаний, в числе которых — его учредители (OTI), основные инвесторы (компании TRW Space & Technology Group, США и Teleglobe, Канада), а также ряд других фирм, таких как Spar Aerospace (Канада), Thomson CSF (Франция) и др. За плечами этих компаний — огромный опыт разработки и эксплуатации систем связи с геостационарными КА. Компания TRW является разработчиком более 185 спутниковых, военных и научных космических комплексов (Milstar, TDRS и др.), Teleglobe — является крупнейшим телекоммуникационным оператором в мире.

Фирма TRW должна разработать космический и наземный комплексы и сдать систему Odyssey «под ключ» компании OTI. Для предоставления услуг планируется развернуть широкую сеть национальных фирм-операторов. Имея лицензии на операторскую деятельность, эти провайдеры будут осуществлять эксплуатацию системы в различных регионах мира.

Функционирование системы Odyssey регламентируется следующими документами:

- лицензия на создание системы — выдана FCC США в январе 1995г.;
- разрешение на работу в L- и S-диапазонах. Частоты для абонентских линий были выделены в 1992 г. на Всемирной административной конференции по радиосвязи WARC-92;

- разрешение на работу в Ka-диапазоне. Частоты для фидерных линий были выделены в 1995 г. на Всемирной конференции по радиосвязи WRC-95.

5.1. Космический сегмент и зоны обслуживания.

Космический сегмент системы Odyssey использует средневисотные круговые орбиты для глобального покрытия Земли и состоять из 12 КА. Спутники выведены на высоту 10 354 км в три орбитальные плоскости с наклоном 50° (в каждой плоскости — 4 КА). Масса космического аппарата составляет 2500 кг, срок эксплуатации КА — 15 лет. Мощность солнечных батарей спутника в конце расчетного срока его существования составит 4,6 кВт.

На орбиту спутники (попарно) вывела ракета-носитель Atlas IIА. Период обращения спутника приблизительно 6 ч, угловая скорость — около 1 град/мин. Над большинством участков суши в зоне обслуживания одновременно находится по 2 КА, причем хотя бы один из них — не ниже 30° над горизонтом. Система в целом обеспечивает обслуживание абонентов на территории от 70° с.ш. до 70° ю.ш. и охватывает зону протяженностью свыше 7 тыс. км (при суммарной ширине диаграммы направленности спутника 40°).

Отличительная особенность системы Odyssey — квазистатичное покрытие поверхности Земли. Все спутники оснащены многолучевыми антеннами, которые создают непрерывную сотовую структуру покрытия на поверхности Земли, охватывающую (избирательно) только сушу и наиболее судоходные акватории мирового океана. По мере движения КА по орбите система позиционирования лучей будет отслеживать формирование географически неподвижной сотовой структуры на обслуживаемой территории.

Переключение зон обслуживания проводится только тогда, когда углы видимости для связи с земными станциями становятся небольшими. Радиовидимость двух спутников обеспечивается под сравнительно высокими углами наблюдения практически с любых широт. Даже если для связи доступен лишь один спутник (а второй не используется), угол видимости КА окажется не меньшим, чем 30° , и будет гарантирован в течение 95% суточного времени. Это позволит сократить энергетический запас радиолинии, необходимый для компенсации потерь на распространение через деревья, здания и другие преграды.

Для организации связи в системе Odyssey (рис. 5.6) используется простой «прозрачный» ретранслятор с преобразованием частоты; обработка информации на борту спутника не предусмотрена. Задержка сигналов в ретрансляторе не превышает 5 мс. Маршрутизация и обработка сообщений осуществляются на наземных станциях.

Для передачи информации применяются широкополосные сигналы и многостанционный доступ с кодовым разделением каналов (CDMA). Прием информации от абонентских терминалов осуществляется в L-диапазоне

(1610,0— 1626,5 МГц), передача на абонентский терминал — в S-диапазоне частот (2483,5-2500 МГц). Эквивалентная изотропная мощность излучения для канала «спутник-Земля» составляет 24,2 дБ/Вт. В радиолиниях L- и S-диапазонов используется круговая поляризация.

Антенная система каждого из КА создает на земной поверхности зону, образуемую 61 узким лучом, причем одни и те же зоны могут использоваться на прием и передачу.

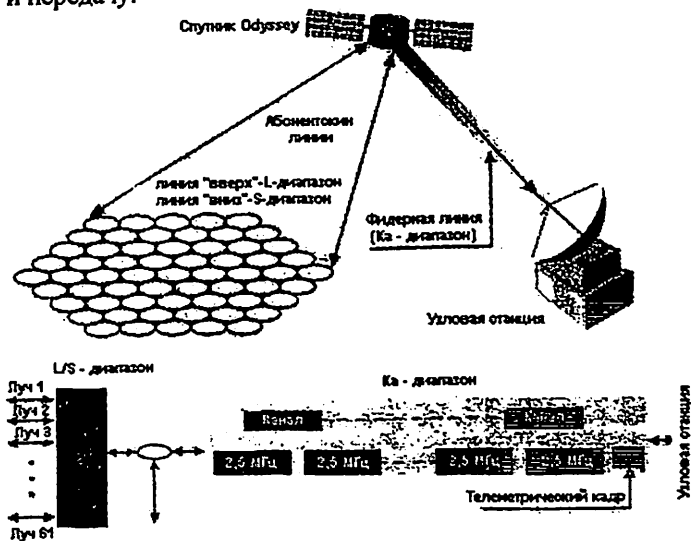


Рис. 5.6 Схема организации связи в системе Odyssey

Для каждого из лучей выбирается одна пара несущих частот; коэффициент повторного использования частот — не ниже 6. Частотный план функционирования абонентских линий (рис. 5.7) предусматривает, что ширина полосы частот в приемном луче составит 11,35 МГц, а в передающем — 16,5 МГц.

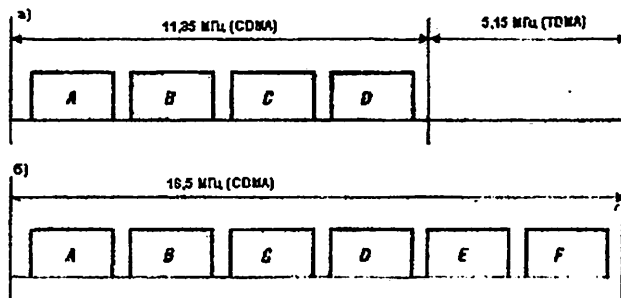


Рис. 5.7 Распределение частот в системе Odyssey:
а - линия "абонент - спутник", б - линия "спутник - абонент"

Два спутника, одновременно обслуживающих какой-либо из регионов, обеспечат радиотелефонную цифровую связь 6 тыс. радиотелефонных каналов. Для стационарных пользователей пропускная способность одного КА — более 10 тыс. эквивалентных каналов по 4,8 кбит/с (режим передачи данных со скоростью 64 кбит/с). Фидерные линии, обеспечивающие связь между КА и узловыми станциями, работают в Ка-диапазоне, приведено в таблице 5.1.

Таблица 5.1
Основные характеристики бортовой аппаратуры Ка-диапазона

Показатель	Направление связи	
	Прием	Передача
Диапазон частот, ГГц	29,1-29,4	19,3-19,6
Общая ширина полосы, МГц	300	300
Ширина полосы канала, МГц	2,5	2,5
Вид поляризации	LHCP	RHCP
Коэффициент усиления антенны, ДБ _н	38,5	35,7
Ширина луча по уровню 3 дБ, °	2,20	30
Шумовая температура приемника, °К	780	-
Эквивалентная изотропная мощность излучения, дБВт	-	46,4

5.2. Наземный сегмент и организация связи

Система спутниковой связи Odyssey предназначена для организации радиотелефонной связи, передачи данных и коротких сообщений о местоположении подвижных объектов. Наземный сегмент Odyssey включает в себя узловые (базовые) станции и терминалы. Двухрежимный радиотелефонный терминал обеспечивает работу в сетях стандарта GSM, TDMA, CDMA, PHS. Он позволяет работать не только в системе Odyssey, но и в наземных сотовых сетях, причем доступ к наземной сотовой сети является приоритетным.

Связь регламентирована так, что после определения свободных частот вызов всегда направляется в адрес базовой станции сотовой сети. В случае невозможности соединения с базовой станцией (вызов заблокирован или все частоты заняты) терминал автоматически передает запрос на спутник системы Odyssey.

Передача речи осуществляется со скоростью 4,2 кбит/с; вероятность ошибки в речевом канале — не более 10⁻³. Кроме речевой связи терминал Odyssey предоставляет возможность приема сообщений персонального радиовызова (пейджинг) с буквенно-цифровой индикацией, обеспечивает режим электронной почты, а также определение местоположения абонента. Скорость передачи данных составляет 2,4—64 кбит/с; вероятность ошибки на бит — не более 10⁻⁵. Для коррекции ошибок применяется сверточное кодирование ($R = 1/2$, $K = 7$).

Определение координат производится по собственным сигналам системы Odyssey. В связи с относительно большим (для средневысотной орбитальной группировки) числом спутников в любой точке обслуживаемой территории можно наблюдать «созвездие» из двух или трех спутников, находящихся под большими углами видимости. Это делает возможным установление местоположения объекта только по сигналам КА Odyssey. Погрешность определения местоположения — не более 15 км.

В системе не предусмотрены межспутниковые связи. Весь график данного региона передается через узловые станции, приведено в таблице 5.2, которые связаны между собой многоканальными линиями связи. В задачи узловой связи входят не только прием/передача регионального графика, но и обеспечение сопряжения с телефонной сетью общего пользования, управление межлучевой коммутацией, прием и обработка телеметрии с борта спутника.

Таблица 5.2

Основные характеристики узловых станций

Показатель	Направление связи	
	Прием	Передача
Диапазон частот, ГГц	29,1-29,4	19,3-19,6
Общая ширина полосы, МГц	300	300
Ширина полосы канала, МГц	2,5	2,5
Вид поляризации	RHCP	LHCP
Коэффициент усиления антенны, ДБ _и	64,8	60,8
Ширина луча по уровню 3 дБ, °	2,2	0,17
Шумовая температура приемника, °К	666,5	-
Эквивалентная изотропная мощность излучения, дБВт	-	85,9

Также, в системе Odyssey при подключении мобильных пользователей к телефонной сети общего пользования задержка сигнала, которая складывается из задержки спутникового канала (84 мс) и задержки наземного тракта (20 мс), обеспечивает качественную передачу речевых сообщений.

Предусматривается построение в каждом из обслуживаемых регионов одной земной узловой станции; для глобального охвата территории Земли достаточно 7 станций. На каждой из них предполагается установить по четыре следящие параболические антенны диаметром около 7 м, три из которых будут использоваться для одновременной работы со спутниками, а четвертая — для передачи трафика от спутника к спутнику через станцию с учетом радиовидимости. Кроме того, эта антенна необходима для повышения надежности связи в случае неблагоприятных климатических условий.

Бортовые антенны спутника имеют узкую диаграмму направленности, а приемные устройства спутников — высокую чувствительность, поэтому в абонентских станциях можно применять передатчики с малой выходной мощностью. Планируется выпустить две модификации абонентских

терминалов, различающиеся выходной мощностью передатчика (0,5 и 5 Вт). В конструкции терминала предполагается использовать антенну типа «четырёхзаходная спираль» с коэффициентом усиления 2,5 дБ. Энергетический запас на линии связи составит 6—10 дБ.

5.3. Услуги системы Odyssey

Развертывание орбитальной группировки сети Odyssey производилось в 2 этапа. На первом этапе, услуги предоставляют только 6 КА. Они обеспечивают непрерывное обслуживание в основных регионах в течение 14 часов в сутки. На следующем этапе развернулась полномасштабная орбитальная группировка из 12 спутников. Были определены приоритетные зоны обслуживания: территория континентальной части США с прибрежными районами, Европа, Азия и акватория Тихого океана.

Пользователями системы будут частные лица и государственные структуры, нуждающиеся в непрерывной мобильной связи на значительных по площади территориях, а также население регионов с низким уровнем наземной инфраструктуры связи. В регионах, где отсутствуют альтернативные виды связи, использование каналов спутниковой связи позволяет расширить зоны действия сотовых сетей. Абонентам таких сетей предоставлена возможность глобального роуминга. Служба коротких сообщений предлагает услуги, аналогичные пейджинговому. Дополнительно предоставляются следующие услуги: определение местоположения клиента, голосовая почта, аварийные сообщения, перевод с одного языка на другой.

В 2005 г., после окончания развертывания системы ODYSSEY, число ее абонентов превысило 2 млн. На данный момент число пользователей составляет около 9 млн. человек. Цена одного абонентского терминала, составляет 350—1000 долларов, размер ежемесячной абонентской платы — 25 долларов, а стоимость минуты телефонной связи в спутниковом канале — 0,75 долларов.

6. Международная система ICO

6.1. Частотное обеспечение

Система ICO использует для связи L- и S-диапазоны частот, поддерживая цифровую обработку сигнала на борту спутника. В качестве базовой технологии определен метод многостанционного доступа с временным разделением каналов (TDMA).

При определении оптимальных полос частот для абонентских линий связи были рассмотрены несколько вариантов. Принимались во внимание следующие соображения. Диапазон 1,5/1,6 ГГц, широко используемый для подвижных спутниковых служб (ПСС), очевидно, окажется чрезмерно перегруженным, что сильно ограничит потенциал служб ICO. Диапазон 1,6/2,4 ГГц, выделенный службе ПСС на Всемирной административной конференции по радиосвязи (WARC-92), чреват серьезными проблемами

координации с другими службами, которые применяют этот диапазон, например, для фиксированной наземной связи; кроме того, США намерены использовать его для национальных систем.

Наконец, были выбраны следующие диапазоны: «терминал-спутник» — диапазон 1980—2010 МГц, «спутник-терминал» — 2170-2200 МГц.

Для организации связи между КА и узловыми станциями предназначены фидерные линии. Для их работы Всемирная конференция по радиосвязи WRC-95 рекомендовала диапазон 5/7 ГГц («узловая станция—спутник») диапазон 5150-5250 МГц, «спутник—узловая станция» - 6975-7075 МГц).

6.2. Космический сегмент

Система ICO состоит из космического, наземного и пользовательского сегментов. Космический сегмент включает в себя 12 КА (10 рабочих и 2 резервных), запущенных на круговую орбиту высотой 10 355 км над поверхностью Земли. Стартовая масса спутника — 2750 кг, расчетный период эксплуатации — 12 лет. Спутники размещены в двух ортогональных плоскостях, по 6 КА в каждой. Угол наклона орбиты к плоскости экватора составит 45° .

Такая орбитальная группировка обеспечивает глобальный охват поверхности Земли, в том числе полярных районов. Вследствие перекрытия зон охвата в пределах видимости каждой точки зоны обслуживания одновременно находятся два—четыре КА. Один спутник обслуживать приблизительно 25% поверхности Земли (рис. 5.8).

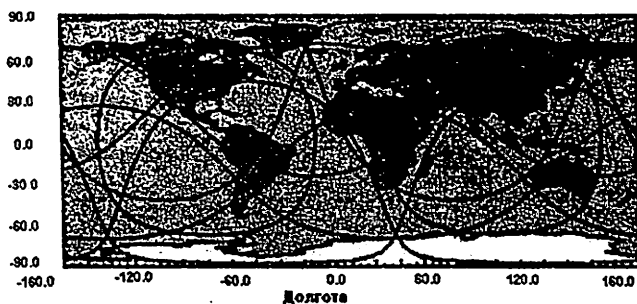


Рис. 5.8 Диаграмма мгновенной зоны покрытия поверхности Земли системой ICO при использовании 10 КА

Продолжительность обслуживания абонентов определяется следующими величинами:

- временем пролета одного спутника над зоной обслуживания;
- средним временем, затрачиваемым на переключение абонента с уходящего за горизонт КА на восходящий КА;

- продолжительностью установления соединения, определяемого схемой организации связи. Средняя продолжительность обслуживания абонентов составит 50 мин; максимальное время пребывания одного КА в зоне радиовидимости может достигать 1,5-2 ч.

В системе ICO применены, главным образом, уже известные и проверенные технические решения. Для изготовления спутников используется спутниковая платформа HS-601 корпорации Hughes Space and Communications (США), применяющуюся для создания крупногабаритных спутников на геостационарной орбите. В конструкцию внесены изменения, в частности переработанная программа ориентации бортовых антенн и панелей солнечных батарей, установлена упрощенная двигательная установка.

Чтобы исключить взаимовлияние системой ICO при использовании 10 КА трактов приема и передачи, на КА применяются отдельные антенны для каждого диапазона частот. Антенна L-диапазона имеет диаметр 2 м. Использование многолучевой диаграммообразующей схемы обеспечивает многократное назначение частот. Согласно проекту, в системе ICO для приема/передачи служат 163 отдельных луча (запас по энергетике составит 8—10 дБ); зона обслуживания одного КА — примерно 7 тыс. км (рис. 5.9). Спутники с установленными на них ретрансляторами С- и S-диапазонов одновременно поддерживают 4500 телефонных каналов.

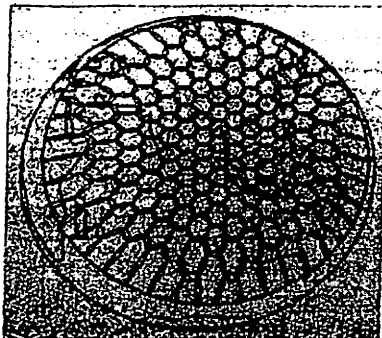


Рис. 5.9 Зона обслуживания одного КА (163 луча) системы ICO

В системе ICO не предусмотрена бортовая обработка сигнала в полном объеме. Однако управление назначением частот и маршрутизация сигнала осуществляются с помощью бортового процессора.

Применение арсенид-галлиевых батарей обеспечивает в конце эксплуатации потребляемую мощность 8700 Вт. В предварительном списке ракетносителей, которые произвели запуск спутников системы ICO, числятся Atlas ПА, Delta ПП, «Протон» и «Зенит» (для запуска с морских площадок).

6.3. Наземный сегмент и организация связи.

В состав наземного сегмента входят центр управления спутниковой группировкой SCC (Satellite Control Centre), центр управления наземной сетью (Network Management Centre) и наземная сеть ICONET (ICO network), (рис. 5.10).

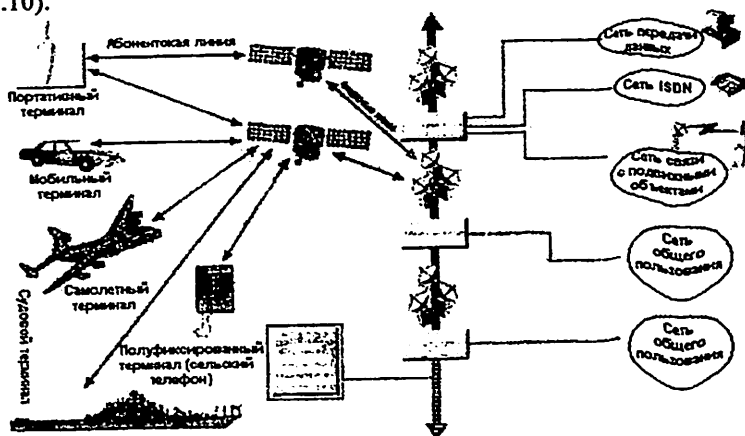


Рис. 5.10 Структура системы ICO (схематично)

NMS, центр управления наземной сетью ICONET, размещен в Японии, а центр SCC — в Лондоне. В функции последнего входят поддержание орбитальной группировки в работоспособном состоянии, сбор телеметрических данных об отдельных подсистемах КА, контроль рабочих параметров и др. Службы SCC несут ответственность за запуск КА, управление и перераспределение частот между лучами КА.

Спутниковые каналы подключаются к существующим сетям связи через собственную сеть ICONET, которая на первом этапе внедрения состоит из 12 наземных станций — так называемых спутниковых узлов доступа SAN (Satellite Access Node). Узлы SAN служат «шлюзами» между спутниками ICO и абонентами наземных сетей общего пользования. Магистральные каналы с высокой пропускной способностью связывают узлы между собой.

Связь между абонентами (как и в существующей системе Inmarsat) организуется только через узлы SAN; непосредственная связь абонентов не поддерживается. Радиотелефонный терминал ICO работает в двух режимах — через КА системы ICO или наземные базовые станции сотовой связи — и совместим с ее основными стандартами. Для связи с подвижными объектами применяются специальные терминалы.

6.4. Терминалы пользователя

В спутниковой сети ICO в качестве базового используется портативный двухрежимный терминал, совмещенный с сотовым телефоном стандарта GSM (или CDMA, D-AMPS, PDC). Предполагается разработка

однорежимного радиотелефонного терминала, работающего только через КА системы ICO. Основные характеристики базового терминала:

- масса — менее 750 г,
- объем — около 500 см,
- стоимость — 750—1500 долларов,
- отдельная батарея обеспечивает одночасовую передачу и 24-часовой режим дежурного приема.

Портативный радиотелефонный терминал ICO отвечает всем требованиям безопасности, связанным с работой в ВЧ-диапазоне. Средняя мощность передатчика не превышает 0,25 Вт (для сравнения: мощность сотовых радиотелефонов равна 0,25—0,6 Вт).

На основе технологии, используемой в базовом терминале, могут быть созданы различные модификации абонентских терминалов. Это, например, терминал только для передачи данных, терминалы в автомобильном, морском и воздушном исполнении, полустационарные («сельский таксофон») и стационарные, а также необслуживаемые (SCADA unit) терминалы. Компания ICO заключила соглашение на разработку 3 млн. портативных терминалов с тремя ведущими компаниями — Panasonic, NEC и Mitsubishi.

6.5. Услуги системы ICO

Пользователям предоставлены следующие виды услуг: двусторонняя речевая связь, передача факсимильных сообщений группы 3, передача данных со скоростью 2,4 кбит/с. Качество речевой связи соответствует стандарту GSM для сотовых сетей. Предусмотрена пейджинговая связь с глубоким проникновением (т. е. с большим запасом по энергетике канала), а также дополнительные услуги — речевой вызов, связь с оплатой по кредитной карточке, отображение номера вызывающего абонента на встроенном в терминал индикаторе, определение местоположения абонента. При отсутствии КА в пределах прямой видимости имеется оповещение абонентов о вызове, о наличии сообщения электронной почты и отображение на дисплее номера вызывающего абонента.

Разработчики видят пять ключевых областей применения системы ICO:

- расширение спектра услуг для абонентов спутниковой связи в районах, уже охваченных сотовыми сетями;
- подвижная связь общего пользования через портативные радиотелефонные терминалы в районах, не охваченных сотовой связью или использующих несовместимые стандарты;
- специализированная подвижная связь для грузовых перевозок, а также обеспечение автомобильной, морской и воздушной связи;
- полуфиксированная связь для корпоративных пользователей нефте- и газодобывающей промышленности, малого бизнеса (склады, большие магазины и др.);
- связь для государственных структур.

Пропускная способность системы составляет 1 млн. абонентов при средней продолжительности разговоров 60 мин/мес. Для сравнения: по прогнозам специалистов, в системе Iridium при тех же условиях число пользователей равно 600—800 тыс., а в Globalstar — 1 млн.

Разработка и изготовление 12 КА оцениваются в 1,3 млрд. долларов, а их запуск обойдется в 900 млн. долларов. Согласно расчетам специалистов ICO, цена абонентской аппаратуры составит 750-1500 долларов, а стоимость минуты разговора около - 2 дол.

7. Сравнение систем Odyssey и ICO

В число наиболее крупных проектов создания систем глобальной персональной радиотелефонной связи входят (кроме рассмотренных выше систем Odyssey и ICO) низкоорбитальные системы Iridium и Globalstar, приведено в таблице 5.3. Предоставляя пользователям практически тот же набор телекоммуникационных услуг (речь, данные, пейджинг, короткие сообщения, определение местоположения), конкурирующие системы существенно различаются по своим характеристикам и наземным структурам. Так, для обеспечения глобальной связи в системах Odyssey/ICO требуются всего 7—12 узловых станций, а для обслуживания пользователей Globalstar — в 20 раз больше. Структура наземного сегмента сети Iridium несколько проще, чем в Globalstar (благодаря использованию межспутниковых линий связи).

Таблица 5.3

Сравнительная характеристика глобальных систем радиотелефонной связи

Показатель	Odyssey	ICO	Iridium	Globalstar
Тип орбиты	MEO	MEO	LEO	LEO
Число КА	12	12	66	48
Высота орбиты, км	10 354	10 355	780	1400
Наклонение орбиты, °	50	45	86	52
Масса КА, кг	2500	2750	690	450
Потребляемая мощность, Вт	4600	8700	1000	1200
Число лучей	51	163	48	16
Срок эксплуатации КА, лет	15	12	5	7,5
Метод многостанционного доступа	CDMA	TDMA	TDMA	CDMA/FDMA
Число узловых станций	7	12	25	150-210
Число каналов КА, эквивалентных 4,8 кбит/с	3000	4500	От 600	1300
Стоимость проекта млрд. долларов	2,5	2,8	От 3,5	2,0
Стоимость двухрежимного терминала, дол.	350	750	3000	750
Тариф, дол./мин	0,75	2	3	0,35-3

Система ICO — единственная из четырех конкурирующих систем — пока не имеет лицензии США на коммерческое использование радиочастот. Однако организация прилагает все усилия для решения этой проблемы. Наиболее важными для пользователя являются технико-экономические параметры, но эта информация нередко носит рекламный характер (т. е. является не вполне объективной), что объясняется жесткой конкурентной борьбой на рынке. Особо бурные споры вызывают цена терминалов и предлагаемые тарифы. Так, трудно объяснить, почему двухрежимный терминал Motorola, обеспечивающий практически те же характеристики, что и терминалы других фирм (например, терминалы Mitsubishi для систем Odyssey и ICO), стоит в несколько раз дороже, чем они. Какими окажутся окончательные цены и тарифы, покажет время.

8. Расчет зависимостей характеристик спутников от параметров долготы и угла раскрыва антенны

Задание:

- Определить коэффициент усиления антенны бортового ретранслятора в зависимости от угла раскрыва.
- Определить наклонную дальность между ЗС и КС.
- Рассчитать ширину диаграммы направленности по уровню половинной мощности.

Методические указания к расчету:

1. По заданным величинам из таблицы 5.4 выписать исходные данные для расчета.

2. Определите коэффициент усиления антенны бортового ретранслятора по формуле:

$$G_6 = 44.4 - 10 \lg \Phi_0 - 10 \lg \Phi_1, \text{ дБ} \quad (1)$$

где Φ_0 , Φ_1 — углы раскрыва антенны ИСЗ (для симметрично раскрывающихся антенн $\Phi_0 = \Phi_1$ (задается по варианту));

После расчета необходимо перевести значение G_6 (дБ) в G_6 (раз) по формуле:

$$G_6 (\text{раз}) = 10^{G_6 (\text{дБ})/10}, \text{ раз} \quad (2)$$

3. Наклонная дальность между ЗС и КС определяется по формуле:

$$d = 42644 \cdot \sqrt{1 - 0,295 \cdot \cos \psi}, \text{ км} \quad (3)$$

где

$$\cos\psi = \cos\xi \cdot \cos\Delta\lambda \quad (4)$$

ξ – широта приемной станции (задается по варианту);
 $\Delta\lambda$ – разность по долготе между ЗС и КС (задается по варианту).

4. Рассчитайте ширину диаграммы направленности по уровню половинной мощности.

$$\theta_{0,5} = \sqrt{4,9 \cdot 10^3 \cdot g/G_6} \quad (5)$$

где $g = 0,5$ – коэффициент использования поверхности антенны

Пример расчета:

1. Исходные данные:

Углы раскрытия антенны ИСЗ $\Phi_0 = \Phi_1 = 5^\circ$.

Широта приемной станции $\xi = 42^\circ$.

Разность по долготе между ЗС и КС $\Delta\lambda = 7^\circ$.

2. Определение коэффициента усиления антенны бортового ретранслятора по формуле:

$$G_6 = 44,4 - 10 \lg 5 - 10 \lg 5 = 44,4 - 6,9 - 6,9 = 30,6 \text{ дБ}$$

Переведем значение G_6 (дБ) в G_6 (раз) по формуле:

$$G_6 (\text{раз}) = 10^{G_6 (\text{дБ})/10} = 10^{30,6/10} = 10^{3,06} = 1148 \text{ раз}$$

3. Для определения наклонной дальности между ЗС и КС сначала определим:

$$\cos\psi = \cos\xi \cdot \cos\Delta\lambda = \cos 42^\circ \cdot \cos 7^\circ = 0,743 \cdot 0,993 = 0,738$$

Тогда:

$$d = 42644 \cdot \sqrt{1 - 0,295 \cdot \cos\psi} = 42644 \cdot \sqrt{1 - 0,295 \cdot 0,738} = 37720 \text{ км}$$

4. Расчет ширины диаграммы направленности по уровню половинной мощности.

$$L_{\text{доп}} = L_{\text{атн}} + L_{\text{д}} + L_{\text{н}} + L_{\text{п}} = 0,15 + 0 + 0,3 + 0,05 = 0,5 \text{ дБ}$$

Ослабление сигнала в свободном пространстве:

$$\theta_{0,5} = \sqrt{4,9 \cdot 10^3 \cdot g/G_6} = \sqrt{4,9 \cdot 10^3 \cdot 0,5/1148} = 1,6^\circ$$

Таблица 5.4

Исходные данные по вариантам

Последняя цифра номера по журналу	$\Phi_0 = \Phi_1$	ξ	$\Delta\lambda$
1	17°	30°	3°
2	11°	32°	4°
3	5°	34°	5°

4	2,5°	36°	6°
5	17°	38°	7°
6	11°	40°	3°
7	5°	42°	4°
8	2,5°	44°	5°
9	11°	46°	6°
0	5°	48°	7°

Контрольные вопросы

1. Из каких базисных частей состоит система спутниковой связи?
2. Перечислите главные компоненты спутника и поясните их функциональные задачи.
3. Какие типы ЗС существуют? Дайте их краткую характеристику.
4. Что представляет собой система Aloha?
2. Приведите и поясните схему организации связи в системе Odyssey.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №6

ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ ЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ VSAT

1. Цель работы

Изучение принципов построения функциональных схем земных станций для телефонии и передачи данных.

2. Задание

1. Ознакомиться с определением класса земных станций VSAT.
2. Изучить типы сетей VSAT.
3. Ознакомиться со структурой сети VSAT для передачи данных.
4. Рассчитать параметры приемника ЗС
5. Составить отчет.

3. Содержание отчёта

1. Цель работы.
2. Функциональная схема (по заданию преподавателя).
3. Основные варианты организации связи в сетях VSAT.
4. Расчет параметров приемника ЗС

4. Краткая теория

4.1. Определение класса земных станций VSAT

К классу земных станций VSAT (Very Small Aperture Terminal) относятся станции спутниковой связи, технические характеристики которых удовлетворяют следующим требованиям Рек. МСЭ-Р S.725 «Технические характеристики VSAT»:

- станции VSAT устанавливаются непосредственно у пользователей, причем плотность размещения их на ограниченной территории может быть весьма высокой;
- контроль и управление работой станций VSAT в сети осуществляются централизованно, но могут дополнительно использоваться и местные станционные системы контроля и управления;
- станции VSAT относятся к Фиксированной спутниковой службе (ФСС) и должны удовлетворять требованиям Регламента радиосвязи (РР) и Рекомендациям МСЭ-Р, как и все земные станции ФСС;
- станции VSAT обычно применяются в так называемых выделенных сетях (частных, деловых) для передачи данных и телефонии в цифровом виде в режимах работы только на прием (симплекс) или на прием/передачу (дуплекс);
- антенны VSAT обычно имеют диаметр 1,8...3,5 м, но в отдельных системах могут использоваться и большие антенны (диаметром до 6 м);

- в станциях VSAT используется маломощный радиопередатчик (обычно от 1 до 20 Вт) с обязательным ограничением излучаемой мощности в целях безопасности.

4.2. Типы сетей VSAT

Сети VSAT принято классифицировать по двум основным признакам: по конфигурации трафика и по структуре системы управления сетью (централизованная и децентрализованная).

С точки зрения трафика существуют три основных варианта организации связей в сетях VSAT:

1) сеть типа «точка-точка» – простейший случай дуплексной линии связи между двумя удаленными станциями;

2) сеть типа «звезда» – для многонаправленного радиального трафика между центром сети и периферийными (удаленными) пунктами связи;

3) сеть типа «каждый с каждым» (сеть типа MESH в англоязычной литературе) — для прямых связей между любыми пунктами сети связи.

Сеть типа «точка-точка» (рис. 6.1) позволяет обеспечить прямую дуплексную связь между двумя удаленными пунктами связи. Такая схема связи наиболее эффективна при больших расстояниях между пунктами или их расположении в труднодоступных регионах.

В наиболее распространенных для станций класса VSAT сетях типа «звезда» (рис. 6.2) обеспечивается многонаправленный радиальный трафик между центральной земной станцией сети (ЦЗС) и удаленными периферийными станциями (терминалами) VSAT по энергетически выгодной схеме: малая ЗС VSAT – большая ЦЗС, обладающая антенной большого диаметра и мощным передатчиком.

Сети VSAT подобного рода, широко используются для организации информационного обмена между большим числом удаленных терминалов, не имеющих взаимного трафика, и центральным офисом фирмы, транспортными или финансовыми учреждениями.



Рис. 6.1. Сеть типа «точка-точка»

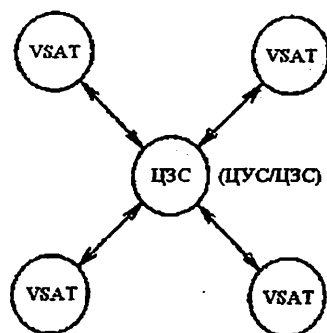


Рис. 6.2. Сеть типа «звезда»

Аналогичным образом построены телефонные сети для обслуживания так называемых удаленных абонентов, которым обеспечивается выход на телефонную коммутируемую сеть общего пользования через центральную станцию, подключенную к одному из наземных центров коммутации каналов (GATEWAY).

Функции контроля и управления в сети типа «звезда» обычно централизованы и сосредоточены на центральной управляющей станции (ЦУС) сети. ЦУС выполняет служебные функции установления соединений между абонентами сети связи и поддержания рабочего состояния всех периферийных терминалов VSAT данной сети. Подобная централизованная система управления сетью VSAT с помощью ЦУС экономически целесообразна для сетей с достаточно большим числом упрощенных и потому дешевых периферийных терминалов VSAT. Однако известны примеры реализации сетей VSAT без ЦУС с децентрализованной распределенной системой управления, элементы которой входят в состав каждой станции VSAT.

В некоторых действующих телефонных сетях VSAT типа «звезда» функции ЦЗС и ЦУС разделены между разными земными станциями, но чаще функции ЦУС совмещают с функциями ЦЗС (см. рис. 6.2). Такая совмещенная схема ЦУС/ЦЗС используется преимущественно в сетях передачи данных с коммутацией пакетов, где ЦУС/ЦЗС выполняет роль диспетчера – маршрутизатора сетевого трафика и одновременно обеспечивает интерфейс спутниковой сети с наземной сетью передачи данных на основе протокола МСЭ-Т X.25

В сетях VSAT с централизованным управлением, создаваемых крупными спутниковыми операторами, программно-технические ресурсы одной ЦУС могут предоставляться нескольким автономно действующим и вновь создаваемым подсетям VSAT за счет выделения части этих ресурсов каждой из подсетей. Таким образом, реализуется возможность постепенного расширения сети и реализации дополнительных услуг потребителям.

В сети «каждый с каждым» (рис.3) обеспечиваются прямые соединения между любыми станциями VSAT, расположенными во всех пунктах связи. Связь двух любых станций в такой сети устанавливается через спутник за один «скачок». Схема оптимальна для телефонных сетей, создаваемых в труднодоступных и удаленных районах, и для сетей передачи данных с относительно небольшим числом удаленных терминалов VSAT.

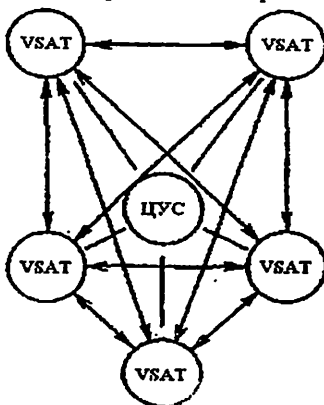


Рис. 6.3. Сеть типа «каждый с каждым»

При централизованной схеме управления такой сетью ЦУС выполняет только служебные функции контроля и управления, необходимые для установления соединения между абонентами сети VSAT, но не участвует в передаче трафика.

В децентрализованном варианте управления сетью ЦУС отсутствует, а элементы системы управления входят в состав каждой VSAT станции. Подобные сети с распределенной системой управления отличаются повышенной «живучестью» и гибкостью за счет усложнения оборудования, расширения его функциональных возможностей и удорожания по этим причинам VSAT терминалов.

4.3. Типы многостанционного доступа в сетях VSAT

Многостанционный доступ в сетях VSAT обычно организуется на основе метода частотного разделения (МДЧР) в режиме закрепленных каналов между станциями с интенсивным трафиком или в режиме МДЧР с предоставлением каналов по требованию (МДЧР-ПКТ) для интерактивного трафика. В интерактивном режиме передачи информации станции сети VSAT осуществляют доступ к выделенным в стволе ретранслятора несущим на основе метода временного разделения (МДВР), в том числе по протоколу МДВР со случайным доступом типа ALOHA или более эффективным разновидностям этого протокола: тактированная ALOHA (S-ALOHA) и ALOHA с резервированием (R-ALOHA).

Как показано на рис. 6.4, в сетях типа «звезда» различают исходящие (ЦЗС-VSAT) и входящие (VSAT-ЦЗС) спутниковые каналы, которые образуются на основе МДЧР в выделенной для данной сети VSAT полосе частот ствола спутникового ретранслятора.

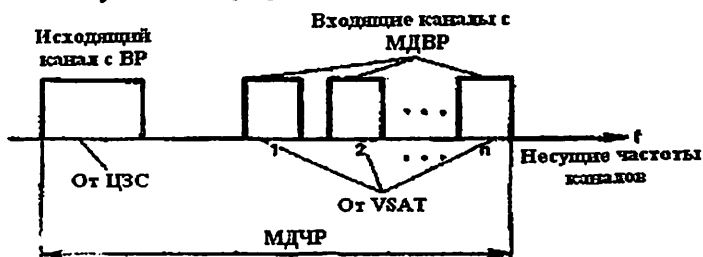


Рис. 6.4. Многостанционный доступ в сетях VSAT типа «звезда»

В сетях VSAT с большим числом периферийных терминалов каждому исходящему каналу ЦЗС обычно соответствует несколько (1, 2, ..., n) входящих каналов ($n < 32$), используемых различными группами терминалов VSAT. Структура входящих и исходящих каналов в каждом конкретном случае определяется на основе требований к сети связи, составу сети, видам и скорости передаваемой информации.

В одной сети может быть организовано несколько исходящих и соответствующих им входящих каналов.

Исходящий канал ЦЗС-VSAT организуется обычно как канал на отдельной несущей с временным разделением (ВР) и пакетированием передаваемой информации. Скорость передачи информации в исходящем канале определяется общим объемом радиального трафика от ЦЗС сети к группе обслуживаемых периферийных терминалов VSAT. Типовые скорости передачи информации в исходящих каналах действующих сетей VSAT 256...2048 кбит/с, метод модуляции — двукратная фазовая манипуляция (ДФМ/QPSK).

ЦЗС передает информацию в исходящем канале в виде непрерывного сигнала с регулярной кадровой структурой, состоящего из временной последовательности информационных пакетов, повторяющих классическую структуру пакетов систем с МДБР: 1) флаг начала пакета (преамбула), 2) заголовок пакета, 3) блок данных (полезная информация), 4) проверочная последовательность (исправление ошибок), 5) флаг окончания пакета (постамбула). Границы кадра обозначаются уникальным словом (UW) и блоком служебной информации, которые используются для сетевой кадровой синхронизации пакетов, передаваемых терминалами VSAT во входящих каналах VSAT-ЦЗС, и для управления терминалами VSAT по протоколам S, R-ALOHA.

Совокупность передаваемых в исходящем канале ЦЗС пакетов предназначена (адресуется) группе периферийных терминалов VSAT.

Каждый терминал VSAT по коду адресного поля в заголовке пакетов принимает только адресованные этому терминалу пакеты из переданной последовательности. Другие пакеты пропускаются (игнорируются).

В каждом из ответных входящих каналов VSAT-ЦЭС, передаваемых на отдельных несущих (см. рис. 4), организуется временной доступ группы терминалов VSAT с передачей информации пакетами со следующей структурой: 1) преамбула, 2) заголовок, 3) информационный блок, 4) проверочная последовательность, 5) постамбула.

Пакеты разных станций VSAT располагаются на временных интервалах в пределах общего временного кадра. Для доступа наиболее часто используются разновидности одного из протоколов МДВР со случайным доступом типа S-ALOHA, R-ALOHA или более эффективных протоколов, адаптивных к значению загрузки канала (например, типа МДВР-ПКТ). Типовые скорости передачи пакетируемой информации во входящих каналах 64/128 кбит/с, модуляция — ФМ-2/ФМ-4 (BPSK/QPSK).

Иногда в сетях для передачи телефонии входящие каналы VSAT-ЦЭС организуются как обычные каналы с частотным разделением типа «один канал на несущую» (МДЧР-ОКН) и экономичными скоростями передачи 16/24/32 кбит/с, предоставляемые по требованию абонентам телефонной сети на все время соединения.

В ряде случаев применяется многостанционный доступ с кодовым разделением сигналов (МДКР), позволяющий наиболее эффективно решать проблему электромагнитной совместимости (ЭМС) сетей VSAT с наземными и другими спутниковыми сетями, но уступающий МДВР и МДЧР по эффективности использования пропускной способности спутникового ретранслятора.

В настоящее время применяются как сети VSAT для передачи отдельных видов информации (телефонные сети, сети передачи данных), так и интегрированные сети «деловой» спутниковой связи обеспечивающие пользователям комплекс услуг по передаче с каждого терминала VSAT различных видов информации в цифровой форме (данных, речевых сообщений, сигналов факса и телекса). В этом случае для передачи каждого вида информации могут быть использованы наиболее эффективные из вышеперечисленных методов доступа терминала VSAT к спутниковому сегменту, которые обеспечивают оптимальные задержки передачи информации между абонентами сети для интерактивных режимов работы, передачи больших файлов данных или комбинированных вариантов трафика. Далее рассмотрим основные характеристики таких сетей.

4.4. Структура сети VSAT для телефонии Конфигурация периферийных станций VSAT

Типовой терминал VSAT для телефонии (ТЛФ), работающий в спутниковой телефонной сети (рис. 6.5), состоит из трех основных элементов:

- антенной системы (АС);
- блока наружной установки (БН), размещенного непосредственно на АС;
- блока внутренней установки (БВ), размещенного в помещении пользователя.

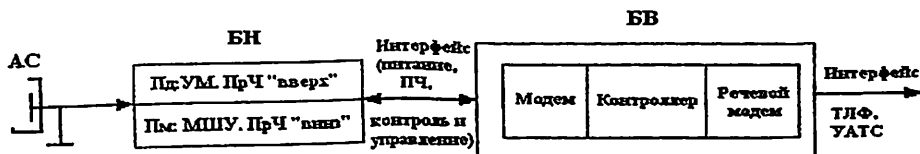


Рис.6.5. Функциональная схема станции VSAT-ТЛФ

Где: АПКТ – аппаратура ПКТ; МШУ – малошумящий усилитель;
Пд – передача; Пм – прием; ПрЧ – преобразователь частоты;
ПЧ – промежуточная частота; ТЛФ – телефон; УМ – усилитель мощности;
УАТС – учрежденческая АТС.

В состав антенной системы входит параболический рефлектор офсетного типа с облучающей системой и антенно-волноводным трактом (АВТ); БН размещается непосредственно на антенне. Производители выпускают широкую номенклатуру антенных систем станций VSAT с различными значениями добротности приемной системы (G/T) и эквивалентной изотропно излучаемой мощности (ЭИИМ) для использования в спутниковых сетях с разными энергетическими характеристиками бортовых спутниковых ретрансляторов.

Для работы в диапазоне частот 14/11-12 ГГц (диапазон Ku) наиболее часто применяются малые антенны диаметром 0,75...1,8 м, хотя для регионов с высокой интенсивностью осадков могут применяться антенны большего размера. Офсетная конструкция обеспечивает минимальный уровень боковых лепестков, соответствующий огибающей $G = 29-25 \log \theta$ дБ в соответствии с Рек. МСЭ-Р S.580-2 (θ – угол относительно максимума диаграммы направленности антенны). В диапазоне частот 6/4 ГГц (диапазон C) антенны станций VSAT имеют несколько большие размеры рефлектора (1,8...4,5 м) для лучшей пространственной избирательности.

Основные параметры антенных систем VSAT должны соответствовать требованиям Рек. МСЭ-Р S.727 и S.728.

При использовании линейной поляризации в диапазоне Ku антенна станции VSAT обычно снабжается устройством настройки плоскости поляризации на принимаемый сигнал. Кроссполяризационная развязка в антенно-волноводной части станции VSAT в случае линейной поляризации

должна быть не менее 25 дБ в пределах контура основного лепестка диаграммы направленности (ДН) антенны с ослаблением 0,3 дБ и не менее 20 дБ в любом другом направлении (Рек. МСЭ-Р S.727 «Кроссполяризацияная развязка для VSAT»).

Как правило, антенные системы станций VSAT не применяют систему слежения за спутником ввиду незначительного уровня потерь наведения при работе с ИСЗ с нестабильностью на ГО $\pm 0,1^\circ$ в пределах основного лепестка ДН антенны. Однако ряд зарубежных производителей VSAT (HUGHES Network Systems, США, NEC Corporation, Япония) оборудуют станции VSAT системами наведения антенн с целью поставки таких станций на российский рынок для работы с существующими ИСЗ «Горизонт», характеризующимися недостаточно высокой точностью их удержания на ГО.

Наружный блок БН, реализующей функции приемопередатчика, состоит из двух основных частей: малошумящего усилителя (МШУ) с малошумящим приемным конвертером СВЧ/ПЧ (в англоязычной литературе Low Noise Block — LNB) в тракте приема и конвертера ПЧ/СВЧ в тракте передачи с усилителем СВЧ мощности (УМ), выполненными в герметичном всепогодном конструктиве.

Приемный блок БН обычно располагается непосредственно на облучателе антенны с целью уменьшения потерь в приемном СВЧ тракте до МШУ. Передающая часть БН (УМ и ПрЧ «кверху») монтируется на конструкциях АС, подключается к передающей СВЧ части АВТ и соединяется с внутренним блоком коаксиальным соединителем, по которому передаются сигналы ПЧ приема и передачи, электропитания наружного устройства постоянным током, сигналы контроля и управления блоком БН.

Большинство производителей станций VSAT выполняют БН в нерезервированном варианте, что упрощает конструкцию и удешевляет стоимость терминала VSAT, но предъявляет весьма высокие требования к надежности этого устройства. Типовые значения выходной мощности зарубежных БН в C/Ku диапазонах при использовании твердотельных транзисторных УМ (SSPA) составляют 2...30 Вт/1...16 Вт. При необходимости увеличения ЭИИМ станций VSAT используются УМ на основе лампы бегущей волны (БВ).

Современный МШУ в приемной части БН выполняется обычно на полевых GaAs HEMT транзисторах с минимальным коэффициентом шума (типовая эквивалентная шумовая температура современного приемника 200...220 К в диапазоне 11/12 ГГц и 50...60 К в диапазоне 4 ГГц). Для повышения надежности и удешевления оборудования VSAT используется технология гибридных монолитных СВЧ интегральных схем.

Для удобства размещения станции VSAT у пользователя максимальная длина соединительного коаксиального кабеля между БН и БВ может быть 100...200 м.

Излучение станций VSAT в сторону ГО и паразитные излучения жестко нормируются, причем в связи с возможностью размещения достаточно

большого числа станций VSAT на ограниченной территории параметры их излучения должны быть ограничены более жестко, чем параметры больших ЗС ФСС.

Типовой блок внутренней установки БВ (см. рис. 6.5) состоит из модема и компьютеризированного цифрового управляющего устройства (контроллера АПКТ), а также речевого кодека. БВ обеспечивает интерфейс с БН по ПЧ, питанию, дистанционному контролю и управлению и аналоговый интерфейс с необходимыми типами оконечного оборудования пользователя для передачи речевой информации, сигналов факса или телекса.

В варианте телефонной сети VSAT в составе БВ находится речевой кодек, обеспечивающий преобразование аналогового телефонного сигнала в цифровую форму; наиболее распространенным вариантом преобразования является адаптивная дифференциальная ИКМ (АДИКМ) со скоростью 32 кбит/с в соответствии с Рек. МСЭ-Р G.721, хотя в выделенных сетях для передачи речевой информации и сигналов факса по телефонному каналу часто, используется АДИКМ с более низкими; скоростями: 24 и 16 кбит/с. Помимо речевой информации в цифровую форму преобразуются и служебные сигналы сигнализации, передаваемые по абонентскому телефонному интерфейсу при установлении соединения.

Система с предоставлением каналов по требованию, действующая под управлением ЦУС сети VSAT, обеспечивает эффективное использование пропускной способности спутникового ретранслятора в режиме незакрепленных каналов, предоставляемых абонентам сети VSAT по требованию.

В состав модема VSAT включается дополнительный преобразователь частоты, позволяющий обеспечить частотное разделение при совместной передаче сигналов контроля и управления, а также передаваемого и принимаемого сигналов ПЧ по коаксиальному кабелю между наружным и внутренним блоками станции VSAT.

Скорость передачи информации цифровых модемов телефонных терминалов VSAT составляет 19,2...35,0 кбит/с с учетом передачи дополнительной служебной информации, модуляция – ФМ-2/ФМ-4. Практически во всех современных станциях модема входит цифровой кодек (кодер-декодер) помехоустойчивого кода с «прямым» исправлением ошибок. Наиболее распространенный способ кодирования - применение в тракте передачи кодера сверточного кода (СК) с относительными скоростями кодирования $R=1/2$, $3/4$ и $7/8$. В тракте приема на выходе когерентного демодулятора ФМ сигналов используется декодер СК, реализующий один из двух наиболее эффективных алгоритмов декодирования: 1) алгоритм Витерби (декодирование по методу максимального правдоподобия) или 2) последовательный алгоритм в сочетании с «мягким» (квантованным) решением по каждому принимаемому символу.

Энергетический выигрыш от применения вышеупомянутых алгоритмов кодирования (ЭВК) при относительной скорости кода $R = 1/2$ составляет

5,5...6,5 дБ при вероятности ошибки на выходе $P_{\text{ом}} = 1 \cdot 10^{-6}$. С увеличением относительной скорости кодирования до $R = 3/4, 7/8$ ЭВК уменьшается соответственно на 1...2 дБ.

Дополнительное увеличение ЭВК на 2,5...3,0 дБ достигается при каскадном включении кодера СК и кодера кода Рида-Соломона, предназначенного для борьбы с пакетированием ошибок на выходе декодера СК. При использовании в модемах станций VSAT таких сигнально-кодовых конструкций должны выполняться весьма жесткие требования к возможности перескоков фазы тактовой и несущей частот в системах синхронизации когерентных ФМ демодуляторов ввиду весьма низкого отношения $P_c/P_{\text{ш}}$ в рабочей полосе частот.

Генераторное оборудование аппаратуры VSAT содержит в составе блоков БВ или БН высокостабильный опорный генератор диапазона частот 10...100 МГц с весьма высокими требованиями к спектральной «чистоте» и долговременной стабильности частоты выходного сигнала, который используется для формирования гетеродинных частот в ПрЧ «вверх» и ПрЧ «вниз». Типовое значение долговременной стабильности частоты применяемых генераторов не хуже $1 \cdot 10^{-7}$ в год.

Система контроля и управления, входящая в состав аппаратуры станции VSAT, должна соответствовать требованиям Рек. МСЭ-Р S.729 «Контроль и управление станциями VSAT». Согласно этой рекомендации каждая периферийная станция VSAT должна работать под постоянным контролем ЦУС, гарантирующим недопущение помех другим станциям сети и другим системам при возникновении нештатных ситуаций на необслуживаемых станциях VSAT. С этой целью в сетях VSAT должно быть предусмотрено дистанционное управление со стороны ЦУС по радиоканалу ЦУС-VSAT частотой и мощностью передачи станций VSAT в соответствии с сетевым трафиком, а также запрет на излучение мощности VSAT в аварийных ситуациях.

Во избежание нежелательного излучения в сторону соседних спутников при случайном смещении положения антенны необслуживаемой приемопередающей станции VSAT на каждой станции VSAT необходимо иметь систему защиты (контроля и управления), не допускающую излучения мощности до тех пор, пока не будет принят со спутника сигнал с центральной станции управления этой сетью VSAT.

Рассмотренный комплект оборудования станции VSAT обеспечивает организацию одного дуплексного телефонного канала, предоставляемого в закрепленном режиме или по требованию. Как правило, БВ имеет модульную структуру для нескольких телефонных каналов и допускает наращивание числа оконечных комплектов оборудования для увеличения объема трафика. Интерфейс пользователя реализован в 2-проводном абонентском варианте или в 4-проводном типа E&M, рассчитанным на прямое подключение телефонного аппарата или учрежденческой АТС (УАТС).

4.5 Конфигурация центральной управляющей станции телефонной сети

Центральная управляющая станция (ЦУС) телефонной сети VSAT (рис. 6.6) содержит антенну большого диаметра с системой автоматического слежения за спутником, радиочастотное оборудование и оборудование полосы модулирующих частот. Конфигурация ЦУС имеет модульную структуру, которая позволяет экономично наращивать объем сетевого трафика по мере развития сети и расширения номенклатуры услуг потребителям.

Антенна ЦУС имеет диаметр от 4,5 (6,0) до 11,0 м с целью экономии мощности передатчиков периферийных станций VSAT и энергетического ресурса спутникового ретранслятора.

Первичный контроллер АПКТ, являющийся ядром централизованной системы (ПКТ), выполняет функции контроля и управления сетью и предоставлением каналов по требованию, взаимодействует по общему каналу сигнализации (ОКС) с каждым вторичным каналным контроллером АПКТ терминалов VSAT.

В состав ЦУС, участвующей в трафике, дополнительно включаются блоки каналообразующего оборудования: модемы, вторичные каналные контроллеры АПКТ и речевые кодеки, модульно наращиваемые при увеличении емкости сети.

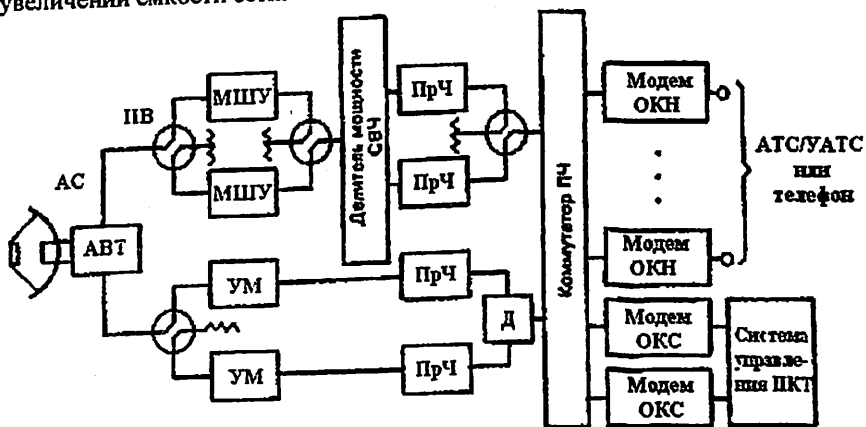


Рис.6.6. Функциональная схема ЦУС/ЦЭС телефонной сети VSAT

Где: АВТ — антенно-волноводный тракт; АС — антенная система; Д — делитель мощности ПЧ; МШУ — малошумящий усилитель; ОКН — один канал на несущую; ОКС — общий канал сигнализации; ПВ — переключатель волноводный; ПКТ — предоставление каналов по требованию; ПрЧ — преобразователь частоты (вверх/вниз); УМ — усилитель мощности

5,5...6,5 дБ при вероятности ошибки на выходе $P_{\text{ом}} = 1 \cdot 10^{-6}$. С увеличением относительной скорости кодирования до $R = 3/4, 7/8$ ЭВК уменьшается соответственно на 1...2 дБ.

Дополнительное увеличение ЭВК на 2,5...3,0 дБ достигается при каскадном включении кодера СК и кодера кода Рида-Соломона, предназначенного для борьбы с пакетированием ошибок на выходе декодера СК. При использовании в модемах станций VSAT таких сигнально-кодовых конструкций должны выполняться весьма жесткие требования к возможности перескоков фазы тактовой и несущей частот в системах синхронизации когерентных ФМ демодуляторов ввиду весьма низкого отношения $P_c/P_{\text{ш}}$ в рабочей полосе частот.

Генераторное оборудование аппаратуры VSAT содержит в составе блоков БВ или БН высокостабильный опорный генератор диапазона частот 10...100 МГц с весьма высокими требованиями к спектральной «чистоте» и долговременной стабильности частоты выходного сигнала, который используется для формирования гетеродинных частот в ПрЧ «вверх» и ПрЧ «вниз». Типовое значение долговременной стабильности частоты применяемых генераторов не хуже $1 \cdot 10^{-7}$ в год.

Система контроля и управления, входящая в состав аппаратуры станции VSAT, должна соответствовать требованиям Рек. МСЭ-Р S.729 «Контроль и управление станциями VSAT». Согласно этой рекомендации каждая периферийная станция VSAT должна работать под постоянным контролем ЦУС, гарантирующим недопущение помех другим станциям сети и другим системам при возникновении нештатных ситуаций на необслуживаемых станциях VSAT. С этой целью в сетях VSAT должно быть предусмотрено дистанционное управление со стороны ЦУС по радиоканалу ЦУС-VSAT частотой и мощностью передачи станций VSAT в соответствии с сетевым трафиком, а также запрет на излучение мощности VSAT в аварийных ситуациях.

Во избежание нежелательного излучения в сторону соседних спутников при случайном смещении положения антенны необслуживаемой приемопередающей станции VSAT на каждой станции VSAT необходимо иметь систему защиты (контроля и управления), не допускающую излучения мощности до тех пор, пока не будет принят со спутника сигнал с центральной станции управления этой сетью VSAT.

Рассмотренный комплект оборудования станции VSAT обеспечивает организацию одного дуплексного телефонного канала, предоставляемого в закрепленном режиме или по требованию. Как правило, БВ имеет модульную структуру для нескольких телефонных каналов и допускает наращивание числа оконечных комплектов оборудования для увеличения объема трафика. Интерфейс пользователя реализован в 2-проводном абонентском варианте или в 4-проводном типа E&M, рассчитанным на прямое подключение телефонного аппарата или учрежденческой АТС (УАТС).

4.5 Конфигурация центральной управляющей станции телефонной сети

Центральная управляющая станция (ЦУС) телефонной сети VSAT (рис. 6.6) содержит антенну большого диаметра с системой автоматического слежения за спутником, радиочастотное оборудование и оборудование полосы модулирующих частот. Конфигурация ЦУС имеет модульную структуру, которая позволяет экономично наращивать объем сетевого трафика по мере развития сети и расширения номенклатуры услуг потребителям.

Антенна ЦУС имеет диаметр от 4,5 (6,0) до 11,0 м с целью экономии мощности передатчиков периферийных станций VSAT и энергетического ресурса спутникового ретранслятора.

Первичный контроллер АПКТ, являющийся ядром централизованной системы (ПКТ), выполняет функции контроля и управления сетью и предоставлением каналов по требованию, взаимодействует по общему каналу сигнализации (ОКС) с каждым вторичным каналным контроллером АПКТ терминалов VSAT.

В состав ЦУС, участвующей в трафике, дополнительно включаются блоки каналообразующего оборудования: модемы, вторичные каналные контроллеры АПКТ и речевые кодеки, модульно наращиваемые при увеличении емкости сети.

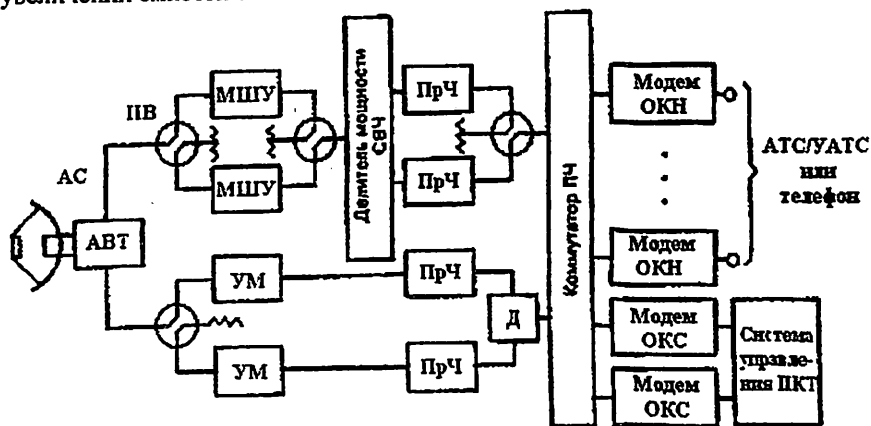


Рис.6.6. Функциональная схема ЦУС/ЦЭС телефонной сети VSAT

Где: АВТ — антенно-волноводный тракт; АС — антенная система; Д — делитель мощности ПЧ; МШУ — малошумящий усилитель; ОКС — один канал на несущую; ОКС — общий канал сигнализации; ПВ — переключатель волноводный; ПКТ — предоставление каналов по требованию; ПрЧ — преобразователь частоты (вверх/вниз); УМ — усилитель мощности

Система ПКТ рассчитана на обслуживание 256 дуплексных телефонных каналов и число обслуживаемых оконечных канальных блоков составляет 2000 шт.

5. Расчет параметров приемника ЗС

Задание:

- Определить шумовую температуру приемного тракта ЗС.
- Определить мощность шумов на входе приемника ЗС.
- Определить мощность сигнала на входе приемника ЗС.
- Определить предельно допустимую пропускную способность ствола.
- Выбрать стандарт цифрового вещания.

Методические указания к расчету:

1. По заданным величинам из таблицы 6.1 выписать исходные данные для расчета по варианту.

2. Шумовая температура приемного тракта определяется по формуле:

$$T_{np} = T_0 \cdot (K_{ш} - 1), \text{ К} \quad (1)$$

где $K_{ш}$ – коэффициент шума приемника ЗС (задается по варианту)

T_0 – шумовая температура АВТ ЗС ($T_0 = 290 \text{ К}$)

Для учета помех от других систем связи необходимо увеличить $P_{ш}$ на 20%.

3. Суммарная шумовая температура:

$$T_{\Sigma} = T_A + T_0 \left(\frac{1 - \eta}{\eta} \right) + T_{np} / \eta, \text{ К} \quad (2)$$

где T_A – шумовая температура антенны ЗС (задается по варианту);

η – КПД АВТ ЗС (задается по варианту);

4. Определение мощности шумов на входе приемника ЗС:

$$P_{ш} = k \cdot T_{\Sigma} \cdot \Delta f_{ств}, \text{ Вт} \quad (3)$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ – постоянная Больцмана;

T_{Σ} – суммарная шумовая температура, К;

$\Delta f_{ств}$ – эффективная полоса частот ствола (задается по варианту).

5. Определение мощности сигнала на входе приемника ЗС.

Для спутниковых систем связи: $P_c/P_{ш} = 10 \dots 12$ дБВт

Для корректных расчетов необходимо мощность шумов, определенную из уравнения 3, перевести из Вт в дБВт. Для этого можно воспользоваться уравнением:

$$P \text{ (дБВт)} = 10 \log_{10}(P \text{ (Вт)} / 1 \text{ (Вт)}) \quad (4)$$

$$P_{с\text{пр}} = P_{ш} + P_c/P_{ш}, \text{ дБВт} \quad (5)$$

6. Определение предельно допустимой пропускной способности ствола:

$$C = \Delta f_{ств} \cdot \log_2(1 + P_c/P_{ш}), \text{ бит/сек} \quad (6)$$

7. Существует несколько стандартов цифрового телевидения:

4:4:4 – 324 Мбит/сек;

4:2:2 – 216 Мбит/сек;

4:1:1 – 162 Мбит/сек.

Стандарт цифрового телевидения выбираем по величине пропускной способности ствола.

Пример расчета:

1. Исходные данные:

Коэффициент шума приемника ЗС $K_{ш} = 8$.

Шумовая температура антенны ЗС $T_A = 40$ К.

КПД АВТ ЗС $\eta = 0,8$.

Эффективная полоса частот ствола $\Delta f_{ств} = 72$ МГц.

2. Шумовая температура приемного тракта:

$$T_{np} = T_0 \cdot (K_{ш} - 1) = 290 \cdot (8 - 1) = 2030 \text{ К}$$

3. Суммарная шумовая температура:

$$T_{\Sigma} = T_A + T_0 \cdot ((1 - \eta)/\eta) + T_{np}/\eta = 40 + 290 \cdot ((1 - 0,8)/0,8) + 2030 / 0,8 = 2650 \text{ К}$$

4. Определение мощности шумов на входе приемника ЗС:

$$P_{ш} = k \cdot T_{\Sigma} \cdot \Delta f_{ств} = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 2650 \cdot 72 \cdot 10^6 = 2,63 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}$$

Для учета помех от других систем связи необходимо увеличить $P_{ш}$ на 20%.

$$P_{ш} = 2,63 \cdot 10^{-12} \cdot 1,2 = 3,16 \cdot 10^{-12}$$

5. Определение мощности сигнала на входе приемника ЗС.

Примем, что $P_c/P_{ш} = 10$ дБВт

Для корректных расчетов необходимо мощность шумов перевести из Вт в дБВт. Для этого воспользуемся уравнением:

$$P \text{ (дБВт)} = 10 \log_{10}(P \text{ (Вт)} / 1 \text{ (Вт)}) = 10 \log_{10}(3,16 \cdot 10^{-12}) = -115 \text{ дБВт}$$

$$P_{\text{с пр}} = P_{\text{ш}} + P_{\text{с}}/P_{\text{ш}} = -115 + 10 = -105 \text{ дБВт}$$

6. Определение предельно допустимой пропускной способности ствола:

$$C = \Delta f_{\text{ств}} \cdot \log_2(1 + P_{\text{с}}/P_{\text{ш}}) = 72 \cdot 10^6 \cdot \log_2(1 + 10) = 252 \cdot 10^6 \text{ бит/сек} = 252 \text{ Мбит/сек}$$

7. Из приведенных стандартов цифрового телевидения по пропускной способности подходит стандарт 4:2:2.

Таблица 6.1

Исходные данные по вариантам

Последняя цифра номера по журналу	$K_{\text{ш}}$	$\frac{T_A}{K}$	η	$\Delta f_{\text{ств}}$ МГц
1	6	30	0,75	60
2	7	40	0,8	64
3	8	50	0,85	68
4	9	60	0,9	72
5	6	70	0,95	74
6	7	30	0,95	70
7	8	40	0,9	60
8	9	50	0,85	64
9	7	60	0,8	62
0	8	70	0,75	68

Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляются к земным станциям VSAT согласно Рек. МСЭ-Р S.725 «Технические характеристики VSAT»?
2. Перечислите основные варианты организации связей в сетях VSAT.
3. Какие типы многостанционного доступа используются в сетях VSAT?
4. Приведите функциональную схему станции VSAT-ТЛФ.
5. Приведите функциональную схему ЦУС/ЦЗС телефонной сети VSAT.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №7

ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ ПЕРЕДАЮЩЕЙ ЧАСТИ АППАРАТУРЫ ВРЕМЕННОГО УПЛОТНЕНИЯ КАНАЛОВ

1. Цель работы

Изучение принципов построения систем спутниковой связи, состава земных и космических станций.

2. Задание

1. Ознакомиться с принципом классификации космических и земных станций.
2. Ознакомиться с основными показателями земных и космических систем связи.
3. Рассчитать основные параметры цифровой системы передачи
4. Составить отчёт.

3. Содержание отчета

1. Назначение и цель работы.
2. Основные показатели земных и космических станций.
3. Упрощённая структурная схема приемного тракта одностовольной ЗС.
4. Упрощённая структурная схема приема - передающего трактов многостовольной ЗС.
2. Расчет основных параметров цифровой системы передачи

4. Краткая теория

4. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ИМИТАЦИОННОГО МАКЕТА АППАРАТУРЫ УПЛОТНЕНИЯ

Основой устройства является модулятор, позволяющий объединить в себе, с целью эффективной визуализации, три вида модуляции – АИМ, ШИМ, ФИМ, а также получить групповой 4-х канальный сигнал по этим видам с учетом правил ВРК. Возможность наблюдения с помощью осциллографа всех характерных сигналов, учитывается выведение на переднюю панель макета соответствующих контрольных точек.

На рис. 7.1 изображена структурная схема макета.

Схема содержит:

- генератор тактовых импульсов 1;
- счетчик-делитель 2;
- формирователь импульса запуска ЛИН 3;
- формирователь маркерного импульса синхронизации 4;
- генератор ЛИН 5;
- сравнивающее устройство (компаратор) 6;
- аналоговый коммутатор 7;

- преобразователь нормализатор (ПН) 8;
- формирователь входных сигналов 9;
- суммирующее устройство 10;
- компьютер 11;
- узел питания 12;
- осциллограф 13;
- контрольные гнезда (Г1..Г8) 14.

Работа структурной схемы имитационного макета аппаратуры уплотнения рис. 1 иллюстрируется временными диаграммами изображенными на рис. 2.

Тактовые импульсы с периодом следования T_T вида U_1 от выхода генератора тактовых импульсов (контрольное гнездо Г1, далее Гn), поступают к инверсному счетному входу четырехразрядного двоичного счетчика 2. На выходах разрядов ($2^0...2^3$) счетчика появляются двоично-зависимые импульсные последовательности U_2, U_3, U_4 (Г2, Г3, Г4), а также импульсная последовательность (2^3), предназначенная для синхронизации начала развертки в осциллографе (на диаграмме не показана). Задним фронтом импульсов вида U_2 с периодом следования $2T_T$ (Г2), по инверсному входу, запускается формирователь 3 и на его инверсном выходе (Г5) появляется отрицательный перепад напряжения вида U_5 , или отрицательный импульс длительностью δ_1 , который в свою очередь способствует запуску (началу действия) генератора линейно изменяющегося напряжения ГЛИН. Это напряжение вида U_6 (гнездо Г6), далее подается на первый вход (например, прямой) сравнивающего устройства – компаратора 6. На второй вход компаратора (инверсный) поочередно, с периодом $2T_T = T_k$, подаются входные значения напряжения каждого из четырех каналов ($U_{вх1}...U_{вх4}$) с выхода аналогового коммутатора 7. Графики линейно изменяющегося напряжения U_6 (гнездо Г6) и $U_{вхi}$ на диаграмме совмещены, откуда видны точки их рабочего пересечения в моменты времени $t_1...t_4$, появление которых зависит от величины $U_{вхi}$. В результате сравнения этих напряжений, на выходе компаратора формируется сигнал ШИМ.

Режим поочередного сравнения входных напряжений каждого из каналов обеспечивается путем автоматической коммутации входных канальных аналоговых сигналов, поступающих из формирователя входных сигналов 9 (1...4) через входы 1...4 аналогового коммутатора 7, работающего в режиме мультиплексора – на выход коммутатора. Этот режим обуславливается наличием в составе коммутатора встроенного дешифратора управляемого разрядами счетчика 2^1 и 2^0 . При этом вход \bar{E} коммутатора служит для отключения (подавления) его информационных входов на интервал времени δ_1 .

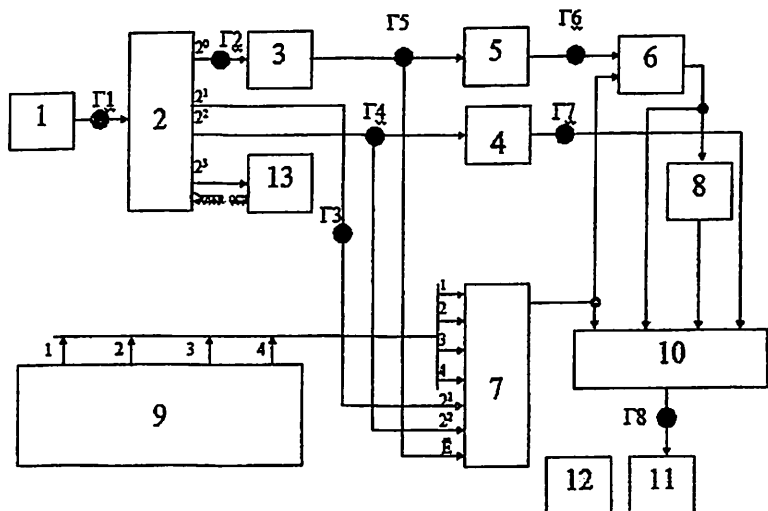


Рис. 7.1. Структурная схема аппаратуры уплотнения

Это способствует, во-первых, устойчивому возобновлению процесса ЛИН, во-вторых – созданию, так называемого защитного межканального интервала времени $\delta 1$, в течении которого, например, может происходить перестройка приемной части на прием очередного канала.

Благодаря режиму мультиплексации, на выходе коммутатора 7 появляется сигнал АИМ ($1к...4к$). Он изображен на графике (рис.7.2) $U7+АИМ$ по канално и с возможностью смена знака, как показано, например, в периоде $3к$.

С выхода компаратора 6, групповая последовательность ШИМ (без атрибута синхронизации) поступает на вход формирователя последовательности ФИМ 8, где по заднему фронту (срезу) каждого канального импульса формируются соответствующие фазовые импульсы длительности $\delta 2$.

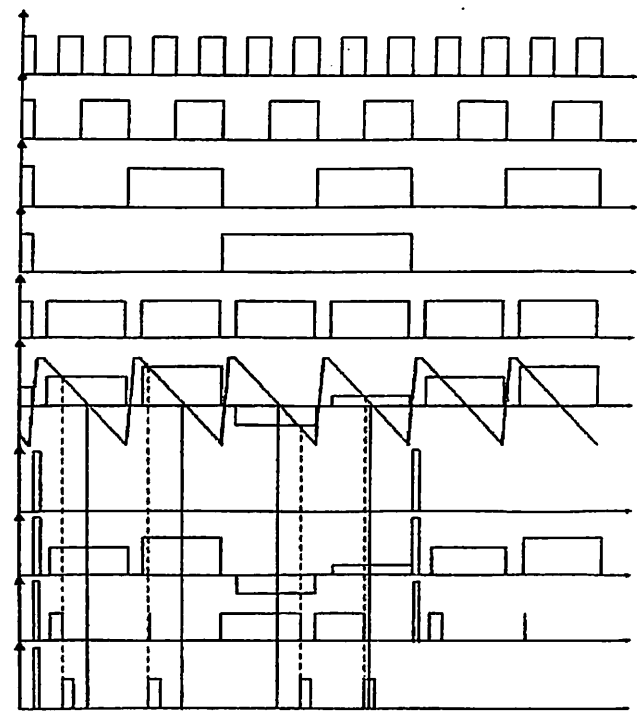


Рис. 7.2. Временная диаграмма

Сформированные таким образом времяимпульсные последовательности АИМ, ШИМ и ФИМ поступают на отдельные входы суммирующего устройства 10, где, в зависимости от выбираемого для изучения режима, и по отдельности, они потенциально складываются с импульсной последовательностью вида $U7(\Gamma7)$. Эти импульсы, длительностью $\delta_3 \approx 0,5\delta_1$, обеспечивают синхронное разграничение групповых периодов T_i и по времени действуют в первой половине защитного интервала перед каждым первым каналным интервалом T_k . Синхроимпульсы $U7$ поступают на отдельный вход суммирующего устройства 10 от прямого выхода формирователя импульсов групповой синхронизации 4, который, в свою очередь запускается через воздействие на его инверсный вход заднего фронта импульсов последовательности $U4(\Gamma4)$ третьего разряда (2^2) - счетчика делителя 2. Действие синхроимпульсов $U7(\Gamma7)$ происходит с периодом времени $\delta T T = T_i$, являющимся групповым периодом. Диапазон изменения времяимпульсной характеристики преобразования ШИМ и ФИМ сигналов обозначен на диаграмме как Δt , а диапазон изменения амплитудной характеристики преобразования АИМ сигнала обозначен как ΔU .

Сформированные таким образом канальные импульсные последовательности АИМ, ШИМ, ФИМ групповых сигналов совместно с синхросигналом могут быть по отдельности поданы на вход осциллографа 13 (синхр. осц.) или на информационный аналоговый вход компьютера 11, для их визуализации и изучения, как в статическом так и динамическом режимах работы макета.

5. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С ВРК

5.1. Принцип распределения каналов

В системах с временным разделением каналов общий тракт связи предоставляется поочередно каждому абоненту на время T_k , называемое канальным интервалом. Каждый канал подключается к тракту, периодически, с периодом T_i , и посылает в групповой тракт свой канальный сигнал (КС). При наличии N каналов в группе справедливо, что $T_k \leq T_i/N$, и чем больше число каналов в группе (N), тем короче длительность КС, т.е. тем меньше время отведенное для обработки каждого из сигналов.

Таким образом в системах ВРК передача осуществляется циклами или периодически, группами из N различных канальных сигналов (КС). Длительность цикла T_i включает в себя помимо N канальных интервалов T_k и интервалы вспомогательных сигналов, например, цикловой синхронизации $T_{i.c.}$, а также интервал служебной связи $T_{c.c.}$.

5.2. Виды преобразования сигналов в системах ВРК

Сигналы в системах с ВРК подвергаются преобразованиям с целью их подготовки для ввода в канал через соответствующий линейный (или канальный обработчик). Различают следующие основные виды преобразования:

а) дискретизация — замена непрерывного сигнала $S(t)$ последовательностью дискретных отсчетов его мгновенных значений;

б) импульсная модуляция — формирование импульсных канальных сигналов КС несущих информацию об отсчетах $S_k(t)$. Эта операция названа первой ступенью модуляции.

в) уплотнение во времени всех КС несущих информацию или размещение на групповом временном интервале NT_k группового импульсно-аналогового (временнo-импульсного) сигнала $U_{гр}(t)$.

Далее в канальном обработчике, как правило, и в основном для передачи в эфир, этим сигналом модулируется высокочастотная несущая.

В приемнике производятся обратные преобразования.

г) выделение $U_{гр}(t)$ из принятого радиосигнала.

д) разделение сигнала $U_{гр}(t)$ на отдельные канальные сигналы;

е) преобразование каждого КС для восстановления соответствующего отсчета $S_k(t)$.

ж) интерполяция передаваемых сигналов по последовательности их отсчетов $S_k(t)$.

В некоторых случаях последние две операции могут объединяться.

Интерполяция (пункт ж), как наиболее ответственная и сложная операция восстановления сигнала по его отсчетам $S_k(t)$ имеет более глубокие корни предистории научных споров и сомнений, которые были в достаточной мере разрешены с появлением в 1933 году доказательство теоремы отсчетов или теоремы В.А. Котельникова. Данная теорема дает обоснование выбора значения частоты дискретизации сигнала с ограниченным спектром: сигнал $S(t)$ с ограниченным спектром полностью определяется через мгновенные отсчеты (значения) взятые через интервал времени $T \leq 1/2F_v$. При этом $S(t)$ для любого t определяется рядом, учитывающим взаимодействие отдельных гармоник сигнала отсчетов появляющихся в спектре:

$$S(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} F(kT_i) \frac{\sin 2\pi F_v(t - kT_i)}{2\pi F_v(t - kT_i)}$$

В зарубежной литературе данную теорему называют теоремой отсчетов или теоремой выборок, а частоту $F_i = 2F_v = 1/T_i$ - частотой Найквиста.

Руководствуясь положением этой теоремы можно оптимизировать систему связи по частоте дискретизации и тем самым предать ей наилучшую экономичность при требуемой эффективности, например, в вопросе быстродействия. Так, исходя именно из этой теоремы на практике, если для стандартного телефонного канала $F_v = 3,4$ кГц и $F_i \geq 2F_v = 6,8$ кГц. Однако, с целью облегчения реализации интерполятора (ФНЧ) и для повышения точности самой интерполяции, в современных системах связи принято

$F_i = 8$ кГц, $T_i = 125$ мкс.. Эти значения рекомендованы МККР для всех международных линий связи с временным уплотнением.

5.3. Уплотнение и модуляция

При передаче сигналов N числа каналов по каналу связи, импульсы всех каналов равномерно распределяют внутри тактового периода. Для этого необходимо чтобы тактовые частоты всех каналов были равны и строго синхронны, а между ними должны быть постоянные фазовые сдвиги, равные $360^\circ/N$, что соответствует временному интервалу или групповому периоду T_i/N .

При передаче 6-ти каналов временной интервал между импульсами равен $125/6 = 20,83$ мкс.

Из сказанного следует, что в линии связи, где применяется временное уплотнение, частота повторения импульсов группового сигнала или групповая частота равна:

$$F_{\text{групп}} = NF_i$$

Например для передачи 6-ти-х каналов $F_{\text{групп}}$ равна:

$$F_{\text{групп}} = 6 * 8 = 48 \text{ кГц.}$$

На рис. 3 показаны отдельные последовательности немодулированных импульсов 6-ти каналов соответственно сдвинутые по фазе, а также

групповой сигнал всех шести каналов таким, каким он подается в линию связи после сложения сигналов всех каналов.

Если бы импульсы всех каналов были одинаковыми, на приёмной стороне было бы невозможно узнать какой импульс несёт информацию какого канала и, распределительное устройство не смогло бы правильно распределять импульсные сигналы соответствующим корреспондентам. В связи с этим аппаратура временного уплотнения должна выделить импульсы одного из каналов по какому-то отличительному признаку, однозначно определяемому на приемной стороне. Такой импульс называется маркерным импульсом или импульсом синхронизации (СИ). Синхроимпульсом может быть любой из передаваемых импульсов, но всегда заранее оговоренный; синхронизирующий канал (СК) служит исходным для отсчета номеров каналов в распределительном устройстве аппаратуры разделения каналов на приемном конце линии связи. Обычно в группе маркерным каналом служит первый канал. Маркерный импульс передается один раз за тактовый период. Это пример наиболее простого вида маркерного импульса, применяемого во многих радиорелейных станциях. Маркерный импульс при этом называется «широтный» так как отличается от других импульсов своей длительностью (рис. 7.3). В нашем случае маркерный импульс отличается от канальных амплитудой.

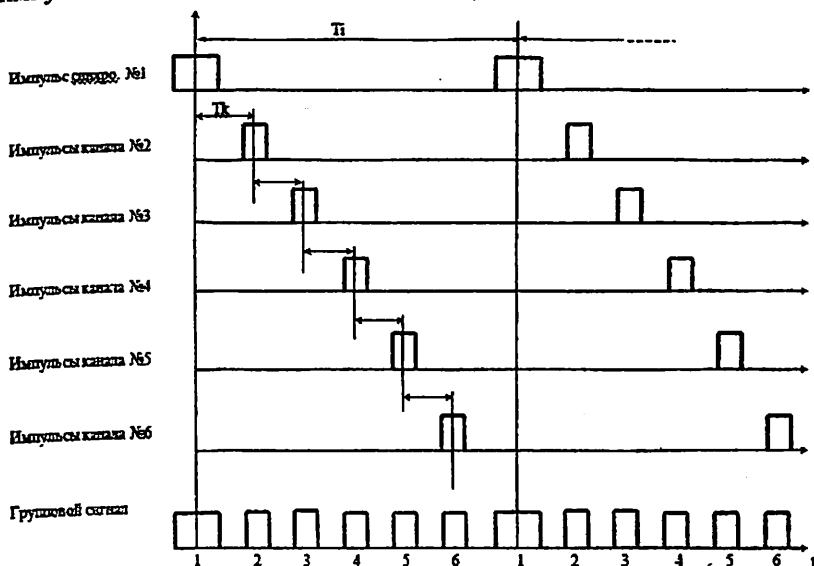


Рис 7.3. Образование группового сигнала при ВРК

5.4. Фазовая стабильность и защитный интервал между каналами

Распространена и эффективно используется малоканальная связь с фазоимпульсной модуляцией (ФИМ), т.к. это наиболее устойчивый вид импульсной модуляции наряду с ИКМ и дельта модуляцией.

ФИМ, также позволяет построить очень компактную и не дорогую аппаратуру временного уплотнения. Но ФИМ обладает некоторым недостатком. При этом виде многоканальной импульсной модуляции каждый канальный импульс во время модуляции занимает значительную часть временного интервала между импульсами других каналов. От этого зависит помехоустойчивость ФИМ. Поэтому, если не принимать особые меры при построении аппаратуры, импульсы одного канала во время модуляции могут заходить в область, выделенную для импульсов другого канала, в результате чего могут возникать сильные взаимные помехи между каналами. Кроме того, станет невозможным на приемном конце надежное разделение импульсов.

Для каждого отдельного канала необходимо выделить интервал времени Δt_k , называемый канальным интервалом, за пределы которого импульсы данного канала не должны выходить при любых значениях модулирующего сигнала. Между канальными интервалами необходимо оставить защитный интервал Δt_z , необходимый для обеспечения надежного выделения импульсов различных каналов на приёмной стороне. Защитный интервал нужен также по техническим причинам. Существует большое количество внешних факторов стремящихся сдвинуть импульсы со своих номинальных фаз.

5.5. Спектр импульсов, модулированных по амплитуде

На рисунке 7.4,а показана последовательность прямоугольных импульсов одного из каналов, модулированных по амплитуде сигналов низкой частоты F.

Как известно, последовательность немодулированных импульсов (рис.7.4,б) может быть разложена в ряд Фурье вида:

$$A_1(t) = \frac{A_0}{q} \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin x}{x} \cos n\Omega t \right],$$

где $x = \frac{n\Omega t \tau}{2} = \frac{n\pi}{q}$ и $q = \frac{T_i}{\tau}$ - скважность этих импульсов.

На основе этого уравнения можно построить амплитудный спектр синусоидальных гармонических составляющих, из суммы которых состоит вышеуказанная последовательность. Этот спектр показан на рис 5а. Огибающая этого спектра имеет вид функции $\frac{\text{Sinx}}{x}$, которая равна нулю в точках, где $f = \frac{k}{\tau}$ (k –любое целое число). Из этого следует, что основная

часть спектра сосредоточена в области частот $\Delta F = \frac{1}{\tau}$. Из этого также следует, что скважность импульсов q численно равна количеству гармоник тактовой частоты F_i , находящихся внутри полосы частот ΔF .

Так как длительность обычных рабочих импульсов в системах с ВРК приблизительно равна или меньше одной микросекунды, то $q \geq 100$. Поэтому амплитуды первых нескольких составляющих кратных тактовой частоте спектра (рис 7.5,а), практически равна между собой и равны $2\frac{A_0}{q}$, а постоянная составляющая будет в 2 раза меньше (рис. 7.5,б).

Если при отсутствии модуляции амплитуда всех импульсов была постоянной и равно A_0 , то при модуляции импульсов по амплитуде синусоидальным сигналом с частотой F и с относительной глубиной модуляции $m_a = \frac{\Delta A_m}{A_0}$, закон изменения амплитуды импульсов во времени может быть описан уравнением:

$$A_0(t) = A_0(1 + m_a \cos 2\pi Ft) = A_0(1 + m_a \cos \Omega t)$$

Поэтому спектр модулированных импульсов будет описываться тем же вышеуказанным рядом Фурье, если заменить постоянную амплитуду A_0 переменной амплитудой $A_0(t)$:

$$\begin{aligned} A_2(t) &= \frac{A_0(t)}{q} \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin x}{x} \cos n\Omega t \right] = \\ &= \frac{A_0}{q} (1 + m_a \cos \Omega t) \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin x}{x} \cos n\Omega t \right] = \\ &= \frac{A_0}{q} \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin x}{x} \cos n\Omega t \right] + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin x}{x} \cos(n\Omega t - \Omega)t = \\ &= A_1(t) + \frac{A_0 m_a}{q} \cos \Omega t + \frac{A_0 m_a}{q} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin x}{x} \cos(n\Omega t \pm \Omega)t \end{aligned}$$

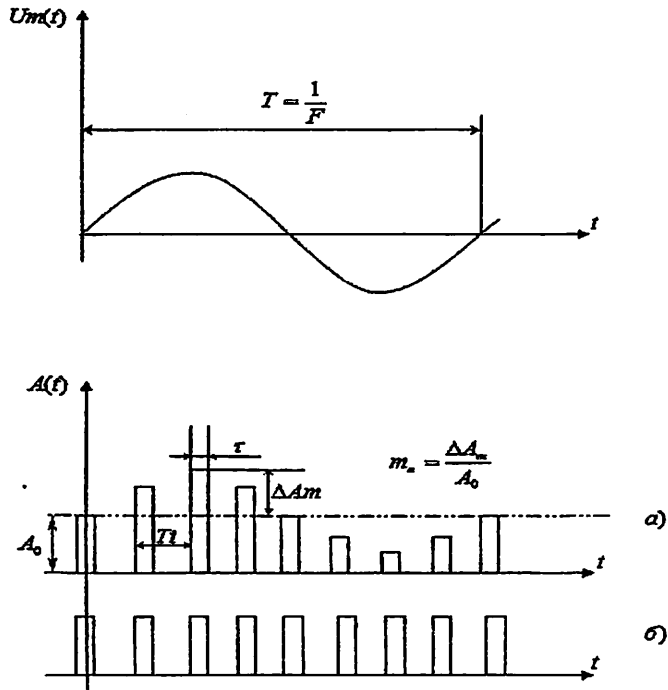


Рис. 7.4. Последовательность прямоугольных импульсов одного канала, модулированных по амплитуде

Спектр амплитудно-модулированных импульсов отличается от спектра немодулированных импульсов $A_1(t)$ только появлением двух боковых частот симметрично расположенных около каждой составляющей nFi .

Как следует из второго члена суммы, кроме этих составляющих, имеется также составляющая полезного сигнала низкой частоты F , амплитуда которого равна:

$$A_F = A_0 \frac{m_a}{q} = A_0 * m_a$$

где A_0 - постоянная составляющая.

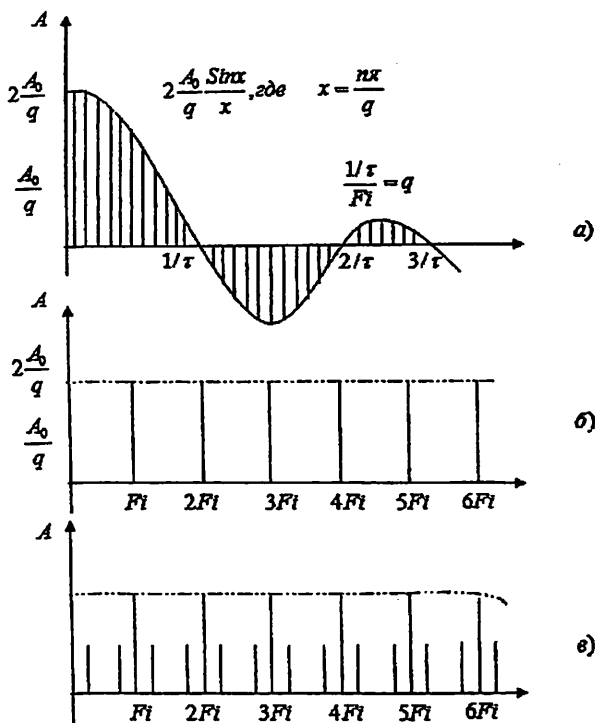


Рис. 7.5. Спектр импульсов, модулированных по амплитуде

Амплитуда боковых частот первой гармоники тактовой частоты также равны:

$$A(F_c \pm F) \cong A_0 \frac{m_a}{q} = A_F$$

Теоретическое и экспериментальное исследование показало, что АИМ обладает такой же помехоустойчивостью, как и обычная амплитудная модуляция. При этих видах модуляции отношение сигнал/помеха на выходе телефонного канала равно этому же отношению на входе приёмника (при оптимальных условиях приема). Это главная причина, по которой АИМ применяется для связи исключительно редко, так как существует много других видов импульсной модуляции значительно более помехоустойчивых.

5.6. Спектр импульсов модулированных по длительности

На рисунке 7.6в показана последовательность импульсов ШИМ модулированных синусоидальным сигналом низкой частоты F . Подобно тому, как при АИМ отношения $\frac{\Delta Am}{A_0}$ принято называть глубиной модуляции

m_u , при ШИМ отношение $\frac{\Delta \tau_u}{\tau_0}$ также называется глубиной модуляции m_u .

Ввиду того, что при ШИМ смещение фронта импульса вызывает одновременное смещение «центра тяжести» импульса, импульсы оказываются модулированными также и по фазе, в следствии чего спектр ШИМ значительно более сложен, чем спектр АИМ. Действительно пусть длительность импульсов изменяется как функция от времени по синусоидальному закону:

$$\tau(t) = \tau_0(1 + m_u \cos \Omega t)$$

Подставим это уравнение в изначальную формулу, учитывая, что $q = \frac{T_i}{\tau(t)}$ тогда получим:

$$\begin{aligned} A_2(t) &= A_0 \frac{\tau(t)}{T_i} \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi \tau(t)}{T_i}}{\frac{n\pi \tau(t)}{T_i}} \cos n\Omega t \right] = \\ &= A_0 \frac{\tau(t)}{T_i} + \frac{2A_0}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi \tau_0(1+m_u \cos \Omega t)}{T_i}}{n} \cos n\Omega t = \\ &= \frac{A_0}{q} + \frac{A_0 m_u}{q} \cos \Omega t + \frac{2A_0}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \left[\frac{n\pi}{q} (1+m_u \cos \Omega t) \right]}{n} \cos n\Omega t \end{aligned}$$

Как следует из этого результата, спектр ШИМ содержит (как и в случае АИМ) постоянную составляющую, равную:

$$A_{\omega} = \frac{A_0}{q}$$

и составляющую той же частоты, что и модулирующий сигнал с амплитудой:

$$A_F = \frac{A_0 m_u}{q}$$

Но главное отличие спектра ШИМ от спектра АИМ в том, что из третьего члена уравнения суммы при дальнейшем разложении выходит, что около каждой составляющей, кратной тактовой частоте, появляются в принципе бесконечное число боковых частот, отличающихся от составляющих nF_i на pF герц, где p - любое целое число (см. рис.7.7а). Амплитуды этих боковых частот рассчитываются при помощи функции Бесселя как при обычной фазовой модуляции. Из этого следует, что теоретически при этом виде модуляции нельзя выделить полезный сигнал частоты F из общего спектра при помощи фильтра низких частот, как это было возможно при АИМ. Тем не менее расчет и эксперимент показывают, что при

многоканальной связи перемещение фронтовых импульсов $\Delta\tau_m$ настолько мало по сравнению с тактовым периодом, что амплитуды боковых частот $F_i \pm pF$ при $p > 1$ практически равны нулю, и поэтому спектр импульсов с ШИМ фактически ничем не отличается от спектра импульсов с АИМ в области низких частот.

Поэтому ШИМ, так же как и АИМ может использоваться для выделения неискаженного полезного сигнала при помощи простого фильтра низких частот с граничной частотой $F_{гп} = \frac{1}{2} F_i$.

ШИМ более помехоустойчив, чем АИМ, так как импульсы могут подвергаться ограничению по амплитуде без ущерба для полезного сигнала, тем не менее ШИМ недостаточно эффективна для использования её в линиях связи. При ШИМ средняя мощность передатчика должна быть большой ввиду того что она пропорциональна средней длительности импульсов τ_0 , а τ_0 всегда больше $\Delta\tau_m$, которое желательно выбрать максимально возможным для получения лучшей помехоустойчивости. Поэтому ШИМ, так же как и АИМ, практически используется только как промежуточный вид модуляции.

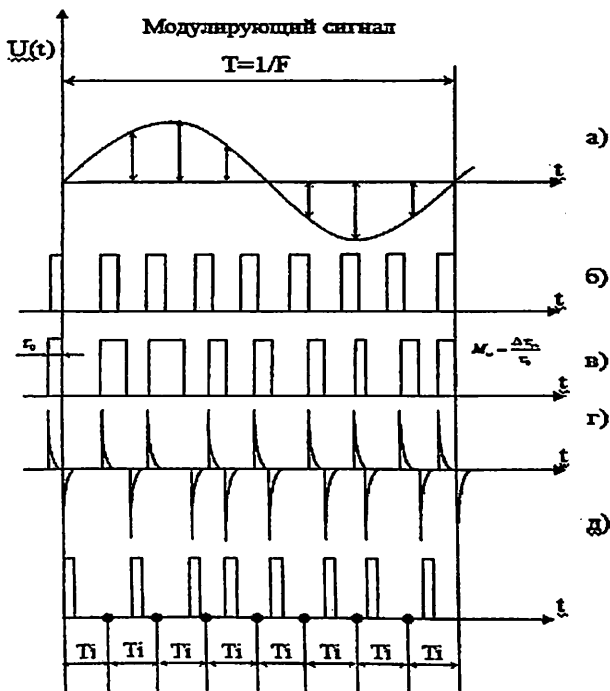


Рис.7.6. Образование импульсов ШИМ и ФИМ

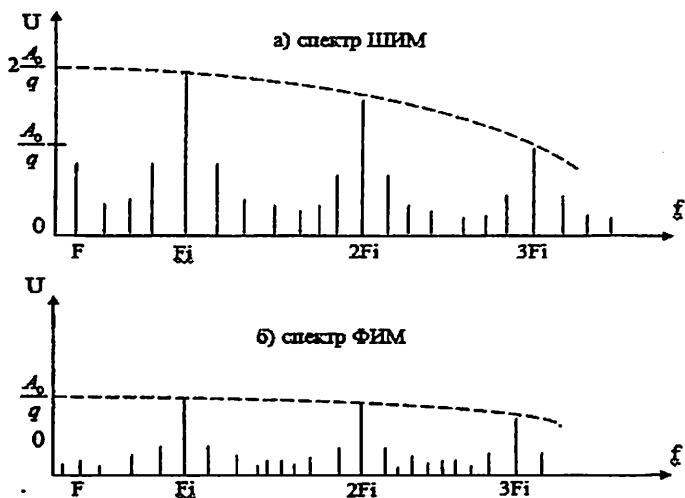


Рис.7.7. Спектр импульсов модулированных по ширине и по фазе

5.7. Спектр импульсов, модулированных по фазе

Ввиду того, что на самом деле при ШИМ не требуется передать корреспонденту весь импульс, а достаточно сообщить только «фазу» его модулированного фронта, целесообразнее преобразовать ШИМ в ФИМ, например, путем дифференцирования импульсов с ШИМ (см.рис. 1.4г). При этом модулированные по ширине импульсы превращаются в последовательность модулированных по фазе очень узких импульсов одинаковой длительности $\tau_0 = \tau_{\min}$. Так как длительность всех импульсов при ФИМ одинакова и равна τ_{\min} , которая была при ШИМ и соответствует полосе пропускания линии связи, то ΔF оптимальна и помехоустойчивость этого вида модуляции получается выше, чем при ШИМ.

Одновременно с этим при одной и той же средней мощности передатчиков обеих систем можно увеличить пиковую мощность системы с ФИМ во столько же раз во сколько τ_{\min} меньше чем τ_0 при ШИМ.

Увеличение амплитуды импульсов соответственно повышает крутизну фронтов, а следовательно фазу фронтов. По этим причинам ФИМ стала наиболее распространенной из всех видов импульсной модуляции, используемых в линиях связи с временным уплотнением.

Импульсы, модулированные по фазе синусоидальным сигналом низкой частоты F , могут быть разложены в ряд Фурье вида:

$$A_{\varphi}(t) = \frac{A_0}{q} + \frac{A_0}{q} \Delta t_m \Omega \cos \Omega t + \\ + \frac{2A_0}{q} \sum_{n=1}^{+\infty} \sum_{k=1}^{+\infty} J_k(n\Omega \Delta t_m) \sin\left(\frac{n\pi}{q} + \frac{k\pi}{T/\tau_0}\right) \cos(n\Omega t + k\Omega)$$

Из этого уравнения следует (см.рис.5б), что спектр ФИМ состоит из постоянной составляющей :

$$A_{\underline{}} = \frac{A_0}{q}$$

из составляющей, частота которой совпадает с частотой модулирующего сигнала F с амплитудой, равной

$$A_F = \frac{A_0}{q} \Delta t_m \Omega$$

А также из частот, кратных тактовой частоте nFi , около каждой из которых имеются теоретически бесконечно широкие полосы боковых частот вида $nFi \pm F$.

В отличие от спектров АИМ и ШИМ амплитуда составляющей модулирующей частоты очень мала, так как $\Delta t_m = \alpha \frac{Ti}{2N}$, где $\frac{Ti}{2N}$ половина интервала между канальными импульсами, а α - коэффициент использования этого интервала (α -всегда меньше единицы) и $\Omega = 2\pi F \frac{Fi}{Ti} = \frac{\pi}{Ti} * \frac{2F}{Fi} = \frac{\pi}{Ti} \mu$; где

μ - коэффициент, показывающий во сколько раз $2F$ меньше или равен единице.

Следовательно

$$\Delta t_m * \Omega = \frac{\alpha \mu \pi}{2N} \ll 1$$

Кроме того, A_F зависит от частоты модулирующего сигнала и при $\Omega \rightarrow 0$; $A_F \rightarrow 0$.

является процессом измерения. Этот μ

5.8. Обзор и анализ методов модуляции

Как и остальные процессы преобразования сигналов в техники связи – получение времяимпульсной меры входного аналогового сигнала процесс в целом характеризуется, например, точностью, быстродействием, экономической целесообразностью использования способов и устройств для преобразования измерительной информации. Поскольку поставленная в работе задача предусматривает применение времяимпульсного модулятора – измерительного преобразователя, выбор устройства далее произведен путем анализа и оценки свойств известных аналогичных методов измерения.

Известны цифровые измерительные системы с аналого-цифровым преобразователем на входе, содержащие измерительный преобразователь –

датчик (микрофон) с аналоговым выходом, например, индуктивный параметрический мостовой преобразователь, аналоговое согласующее устройство и аналогово-цифровой преобразователь. Структура аналогового согласующего устройства известных систем зависит от требуемых схем включения, характера сопротивления преобразовательного элемента, чувствительности, спектрального состава питающего напряжения, и может содержать целый ряд аналоговых преобразователей. Применение аналоговых преобразователей в составе согласующих устройств усложняет и удорожает измерительные средства, особенно при повышенных требованиях к быстродействию и точности измерения. В следствии этого, в известных измерительных устройствах метрологические свойства параметрического мостового преобразователя ограничены. Более близким к задачам времяимпульсного преобразования, как техническое решение является известный способ электрических измерений, заключающийся в том, что определяет постоянную времени электрической цепи τ , применяемы в частности, для определения параметров индуктивных дифференциальных датчиков включенных по схеме параметрического мостового преобразователя. При этом измеряют значения постоянных времени делящих цепей мостовой схемы и разность этих значений для каждого получаемого через время $t \geq \tau$ одиночного отсчета информации. Недостаток этого способа заключается в его низком быстродействии из-за необходимости временных затрат на измерение значения постоянной времени τ в процессе получения информации.

Повышение быстродействия этого способа было достигнуто путем воздействия на входную диагональ измерительного моста импульсами с периодами T , значение которого выбираются в пределах $0,1\tau \leq T < \tau$ и сравнение на выходной диагонали измерительного моста разности мгновенных значений напряжений переходных процессов экспоненциальной формы с опорным значением и измерения длительности импульсов[8]. Этот способ позволяет получить ШИМ и ЧИМ преобразовательные сигналы непосредственно с выхода сравнивающего устройства(компаратора без дополнительных аналоговых преобразователей и является наиболее универсальным, точным и быстродействующим на сегодняшний день в техники мостовых параметрических измерений. С точки зрения метрологии он может быть охарактеризован трансцендентным уравнением вида:

$$Ae^{\frac{t}{\tau_1 + \Delta\tau_1}} - Ae^{\frac{t}{\tau_2 + \Delta\tau_2}} = \delta$$

где A – начальное значение экспоненты,

τ_1, τ_2 – постоянные времени делящих цепей моста, обычно $\tau_1 = \tau_2$

$\Delta\tau_1, \Delta\tau_2$ – приращения постоянных времени τ_1 и τ_2 , в функции времени определяемой текущими параметрами преобразовательных элементов (элемента), δ - порог срабатывания сравнивающего устройства.

Это выражение не позволяет представить в явном математическом виде, взаимосвязь выходной величины – времени длительности импульса T от значения приращения $|\Delta\tau|$, ($T=f(|\Delta\tau|)$), однако, практика табличных расчетов, а также применения данного способа в решении реальных задач ШИМ (ЧИМ) преобразований показывает эффективность и целесообразность его применения. Несмотря на свои достоинства описанный выше способ требует целостной реализации для каждого источника информации. Это связано с невозможностью быстрого переключения аналоговых источников для преобразования в виду конечной длительности установления начальных переходных процессов. Так для получения всех перечисленных преимуществ в режиме ВРК при использовании данного способа потребуется столько преобразователей (мост-компаратор), сколько каналов требуется сгруппировать. Это может быть экономически целесообразно, например, при создании прецизионных периферийных систем сбора измерительной информации (систем телеметрии).

Более экономичным, а также удовлетворительным по точности и надежности в применении поставленной задачи является известный способ времязаимпульсного развертывающего преобразования [10], заключающийся в сравнении мгновенных значений напряжения аналогового сигнала и линейно изменяющегося напряжения (ЛИН), позволяющий коммутацию требуемую числа каналов на один качественный преобразователь без дополнительных временных потерь. Поэтому в дальнейшем целесообразно применение именно этого способа.

В рамках задания и на основании изложенного выше, проектирование лабораторного макета может быть произведено при следующих основных условиях:

- число каналов в демонстрируемой в группе не должно превышать 4-х. Это необходимо для более наглядной и точной картины изображения на экране осциллографа (монитора) в реальном масштабе времени.

Таким образом принимаем для 4-х каналов: при $F_i=8$ кГц и $T_i=1/F_i=125$ мкс, $T_k=T_i/4 \approx 32$ мкс.

Другие, более низкие значения T_k должны быть заданы из расчета полосы пропускания звукового тракта компьютера, с целью визуализации сигнала на его мониторе, например $T_k=320$ мкс.

- импульс синхронизации, или начала группы должен быть вставлен аппаратно в защитный интервал между первым и последним канальным интервалом, с целью синхронизации всей группы в осциллографе. Этот импульс и принимается как групповой синхросигнал (маркерный импульс) в соответствии с правилами ВРК.

6. Расчет основных параметров цифровой системы передачи

Задание:

- Определить количество всех каналов, организуемых ИКМ системой.
- Определить длительность цикла передачи (период дискретизации).
- Определить длительность канального интервала.
- Определить длительность тактового интервала между кодовыми импульсами в канальном интервале.
- Определить длительность кодового импульса.
- Рассчитать тактовую частоту линейного сигнала.
- Определить длительность управляющего канального импульса.
- Рассчитать требуемую полосу пропускания линейного тракта ИКМ системы передачи.

Методические указания к расчету:

1. По заданным величинам из таблицы 7.1 выписать исходные данные для расчета по варианту.

2. Определить количество всех каналов, включающие в себя каналы связи, синхронизации и управления по формуле:

$$N_0 = N + N_c \quad (1)$$

где N – количество каналов связи (задается по варианту)

N_c – количество каналов сигнализации (задается по варианту)

3. Длительность цикла передачи (период дискретизации):

$$T_0 = 1 / f_0 \quad (2)$$

Где f_0 – общая частота передаваемого сигнала, рассчитываемая по формуле:

$$f_0 = (2,3..2,4) f_B, \text{ Гц} \quad (3)$$

где f_B – верхняя частота спектра передаваемого сигнала (задается по варианту);

4. Определение длительности канального интервала:

$$T_K = T_0 / N_0, \text{ с} \quad (4)$$

5. Определение длительности тактового интервала между кодовыми импульсами в канальном интервале:

$$T_T = T_K / n, \text{ с} \quad (5)$$

где n – количество разрядов в кодовой комбинации квантованного отчета (задается по варианту);

6. Определение длительности кодового импульса:

$$\tau = 0,5 \cdot T_T, \text{ с} \quad (6)$$

7. Расчет тактовой частоты линейного сигнала:

$$f_T = n \cdot N_0 \cdot f_0, \text{ Гц} \quad (7)$$

8. Определение длительности управляющего канального импульса:

$$t_n = T_0/4N_0, \text{ с} \quad (8)$$

9. Расчет требуемой полосы пропускания линейного тракта ИКМ системы передачи производится по формуле:

$$\Delta f = 1/\tau, \text{ Гц} \quad (9)$$

Пример расчета:

1. Исходные данные:

Количество каналов связи $N=30$.

Количество каналов сигнализации $N_c=2$.

Верхняя частота спектра передаваемого сигнала $f_n=3800$ Гц.

Количество разрядов в кодовой комбинации квантованного отчета $n=8$.

2. Количество всех каналов, включающие в себя каналы связи, синхронизации и управления:

$$N_0 = N + N_c = 30 + 2 = 32$$

3. Определение длительности цикла передачи (период дискретизации):

$$f_0 = (2,3..2,4) f_n = 2,35 \cdot 3800 = 8930 \text{ Гц}$$

$$T_0 = 1/f_0 = 1/8930 = 112 \cdot 10^{-6} \text{ с}$$

4. Длительности канального интервала:

$$T_K = T_0/N_0 = 112 \cdot 10^{-6}/32 = 3,5 \cdot 10^{-6} \text{ с}$$

5. Длительность тактового интервала между кодовыми им импульсами в канальном интервале:

$$T_T = T_K/n = 3,5 \cdot 10^{-6}/8 = 0,438 \cdot 10^{-6} \text{ с}$$

6. Длительности кодового импульса:

$$\tau = 0,5 \cdot T_T = 0,5 \cdot 0,438 \cdot 10^{-6} = 0,219 \cdot 10^{-6} \text{ с}$$

7. Расчет тактовой частоты линейного сигнала:

$$f_T = nN_0f_0 = 8 \cdot 32 \cdot 8930 = 2,29 \cdot 10^6 \text{ Гц} = 2,29 \text{ МГц}$$

8. Длительность управляющего канального импульса:

$$t_u = T_0/4N_0 = 112 \cdot 10^6 / 4 \cdot 32 = 0,875 \cdot 10^6 \text{ с}$$

9. Расчет требуемой полосы пропускания линейного тракта ИКМ системы передачи:

$$\Delta f = 1/\tau = 1/0,219 \cdot 10^6 = 4,57 \cdot 10^6 \text{ Гц} = 4,57 \text{ МГц.}$$

Таблица 7.1

Исходные данные по вариантам

Последняя цифра номера по журналу	N	N _c	f _в Гц	n
1	32	4	4000	6
2	30	4	3600	8
3	26	4	3500	6
4	38	4	4200	9
5	28	2	3600	6
6	30	2	4200	8
7	36	4	4800	10
8	42	4	6000	10
9	36	3	4600	8
0	30	4	3800	10

Контрольные вопросы

1. Что такое частота дискретизации и каким должно быть ее минимальное значение?
2. Какое значение частоты дискретизации выбрано в исследуемом макете и почему?
3. Чему равно длительность периода дискретизации в данном макете?
4. Чему равен период импульсов на выходе групповых датчиков импульсов?
2. Какова длительность запускающих импульсов выбрана в исследуемом макете и почему?
3. Дайте описание принципа работы данного макета по его структурной схеме.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1	
ИЗУЧЕНИЕ ОБЩИХ ПРИНЦИПОВ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ.....	3
2. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2	
ИЗУЧЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ СПУТНИКОВОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ.....	17
3. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3	
ИЗУЧЕНИЕ БОРТОВЫХ РЕТРАНСЛЯТОРОВ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ.....	29
4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4	
ИЗУЧЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ МНОГОСТВОЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ.....	39
5. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5	
ИЗУЧЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ ODYSSEY И ICO.....	56
6. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №6	
ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ ЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ VSAT.....	79
7. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №7	
ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ ПЕРЕДАЮЩЕЙ ЧАСТИ АППАРАТУРЫ ВРЕМЕННОГО УПЛОТНЕНИЯ КАНАЛОВ.....	92

Список литературы

1. Р.Р. Ибраимов, Д.А. Давронбеков, Ш.У. Пулатов, А.П. Хатамов. Спутниковые системы связи и приложения. Т.: «Aloqachi», 2018. 365 с.
2. Ибраимов Р.Р., Давронбеков Д.А., Тошманов Е.Б., Писецкий Ю.В. Беспроводные системы связи и программы. Учебник, Т.: “Aloqachi”, 2018, 216 с.
3. Радиорелейные и спутниковые системы передачи. Учебник для ВУЗов. Под ред. А.С. Немировского.- М.: Радио и связь, 2000, -392 с.
4. Аболиц А.И. Системы спутниковой связи. Учебное пособие, 2004.
5. Сборник трудов, института космических исследований Российской академии наук, Современные проблемы ориентации и навигации космических аппаратов, под редакцией Г.А. Аванесова. М.: Изд-во ИКИ РАН, 2013. – 205 с.
6. Global Navigation Satellite Systems – Signal, Theory and Applications. Edited by Shuanggen Jin. 2012
7. Сырова А.С., Бортовые системы управления космическими аппаратами. М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010. – 304 с.

**Методическое пособие
по выполнению
практических работ
по дисциплине
«СПУТНИКОВАЯ СВЯЗЬ»
для студентов
по направлению
5350100 – «Телекоммуникационные технологии
(мобильные системы)»**

Рассмотрено на заседании кафедры «ТМС»
«~~14~~ 10» 2022 года (протокол № 5)

Рассмотрено на заседании факультета «РиМС»
«~~14~~ 10» 2022 года (протокол № 3)

Рассмотрено и одобрено на
научно-методическом совете ТУИТ
«~~15~~ 10» 2022 года (протокол № 3/163)

Составители:

Писецкий Ю.В.

Хатамов А.П.

Вотинов К.А.

Файзуллаева Б.Б.

Ответственный редактор:

Мадаминов Х.Х.

Bichimi 60x84 1/16. Bosma tabog'i 7,25
Adadi 30. Buyurtma № 164

Al Xorazmiy nomidagi

Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
«Taxririyl nashriyot» bo'limida chop etildi.
Toshkent sh. Amir Temur ko'chasi 108-uy.