

МИНИСТЕРСТВО ПО РАЗВИТИЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Технологии
мобильной связи»

СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ПРИЛОЖЕНИЯ

Сборник практических работ

Ташкент 2016

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. Составить отчёт.

3. Содержание отчета

1. Назначение и цель работы
2. Основные показатели земных и космических станций
3. Упрощённая структурная схема приемного тракта одноствольной ЗС
4. Упрощённая структурная схема приема - передающего трактов многоствольной ЗС

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) — станции, осуществляющие передачу на участке Земля - 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.

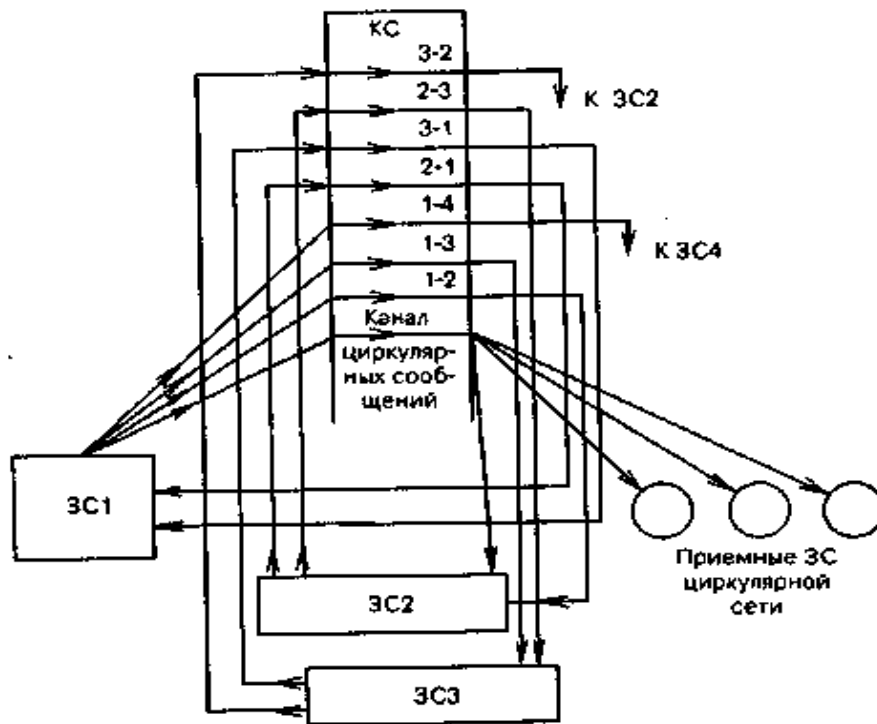


Рис. 1. Схема организации циркулярных и дуплексных каналов через ИСЗ

Приемопередающие ЗС ПСС (ЗС1, 2, 3 на рис. 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).

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. Таковы соединительные линии 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, каналообразования 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 систем спутниковой связи

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 стволов, 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

существо, 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 ($Вт/м^2 \cdot Гц$)*.

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. 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.

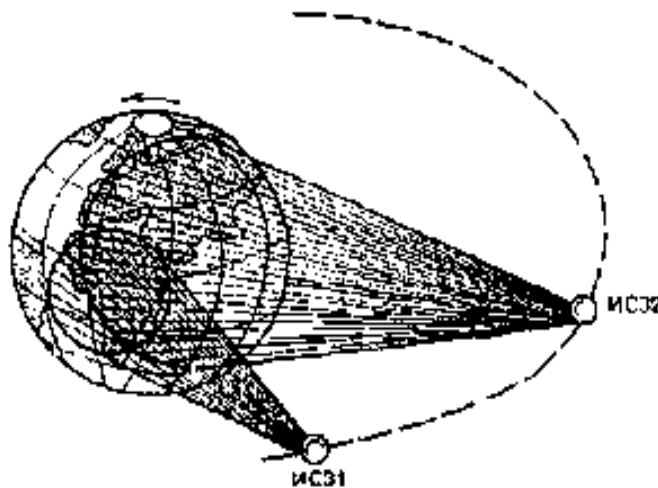


Рис. 2. К определению зоны обслуживания системы спутниковой связи с несколькими ИСЗ

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 (компантеры), действие которых основано на особенностях восприятия шумов при звуковом сигнале. Компантеры 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. 3,а) антенной 1 ЗС, перехватывающей электромагнитное излучение и преобразующей его в электрическое напряжение. Далее принятый сигнал усиливается малошумящим входным устройством 2, содержащим малошумящий 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 оконечное каналоформирующее оборудование 6. Например, при приеме программ телевидения в устройстве 6 могут осуществляться регенерация синхросмеси, выделение канала звукового сопровождения, рассекречивание 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.

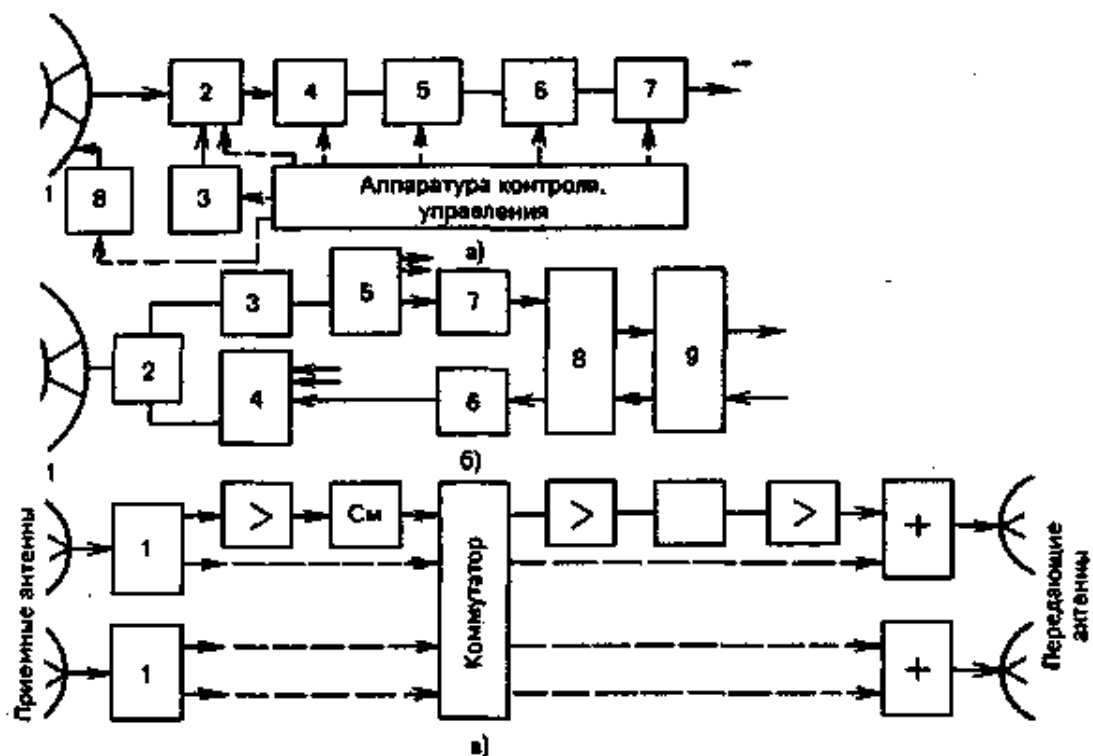


Рис. 3. Упрощенные структурные схемы одноствольной приемной (а) и многоствольной приемопередающей (б) ЗС, а также бортового ретранслятора КС (в)

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. 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. 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. 3,в), цель которых — подать сигналы, адресованные тем или иным ЗС, на передающие антенны с соответствующей зоной обслуживания. Перспективны 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. 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?

ЛИТЕРАТУРА

1. Маковеева М.М., Шинаков Ю.С. Системы связи с подвижными объектами: Учеб. пособие для вузов. - М: Радио и связь, 2002.
2. Спутниковая связь и вещание: Справочник.-3 изд., перераб. и доп. / В. А. Бартенов, Г. В. Болотов, В. Л. Быков и др., Под ред. Л. Я. Кантора – М.: Радио и связь, 1997.
3. Головин О. В., Чистяков Н. И., Шварц В., Хордон Агиляр И. Радиосвязь / Под ред. проф. О. В. Головина . – 2 изд. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003.

Практическая работа №2

ИЗУЧЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ СПУТНИКОВОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ

3. Цель работ

Изучение принципов организации спутниковой телевизионной передачи сигналов.

4. Задание

4. Ознакомиться с принципом организации спутниковой телевизионной передачи сигналов.
5. Ознакомиться с последовательностью этапов обработки сигналов в спутниковом телевизионном вещании.
6. Составить отчёт.

3. Содержание отчета

5. Назначение и цель работы
6. Последовательностью этапов обработки сигналов в спутниковом телевизионном вещании.
7. Структурная схема передающей части системы цифрового вещания.

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 «дальнобойностью», 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 ретрансляция 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 области телевидения в настоящее время ИСЗ используются для международного обмена телевизионными программами, для распространения телевизионных программ среди вещательных организаций, наземных телевизионных передатчиков для ретрансляции, 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.

ПСС – 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 отличие 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), Copernicus (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 разложения 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 спутниковую 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 видеомэгафона), 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 видеомэгафону 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 аппаратной 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 - сверхточный 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 удается 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.1.

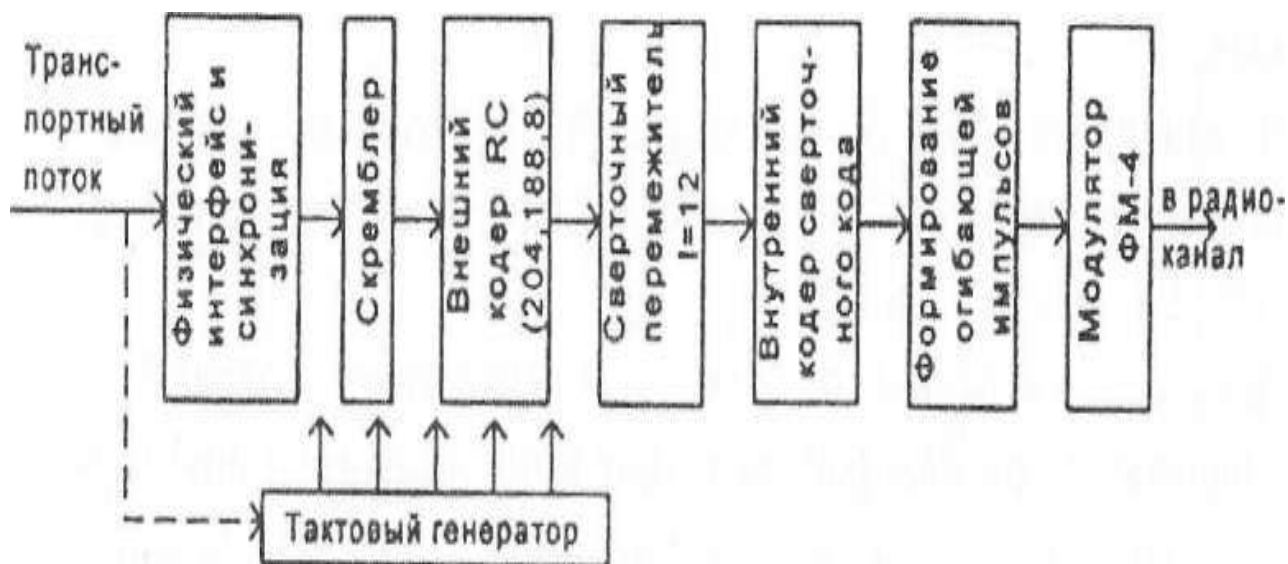


Рис. 1. Последовательность этапов обработки сигналов в спутниковом ТВ вещании

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. Стерефонический 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 Interface)* — 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 кодеров (стандарта *MPEG-2*)).

Подготовленные ТВ программы в формате *SDI* поступают на вход видео кодера, обеспечивающего сжатие информации и формирование цифровых транспортных потоков (рис. 2). Звуковые данные *AES/EBU* - на их основе кодирование звукового сигнала. 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 помощью быстродействующего 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 мультиплексов.

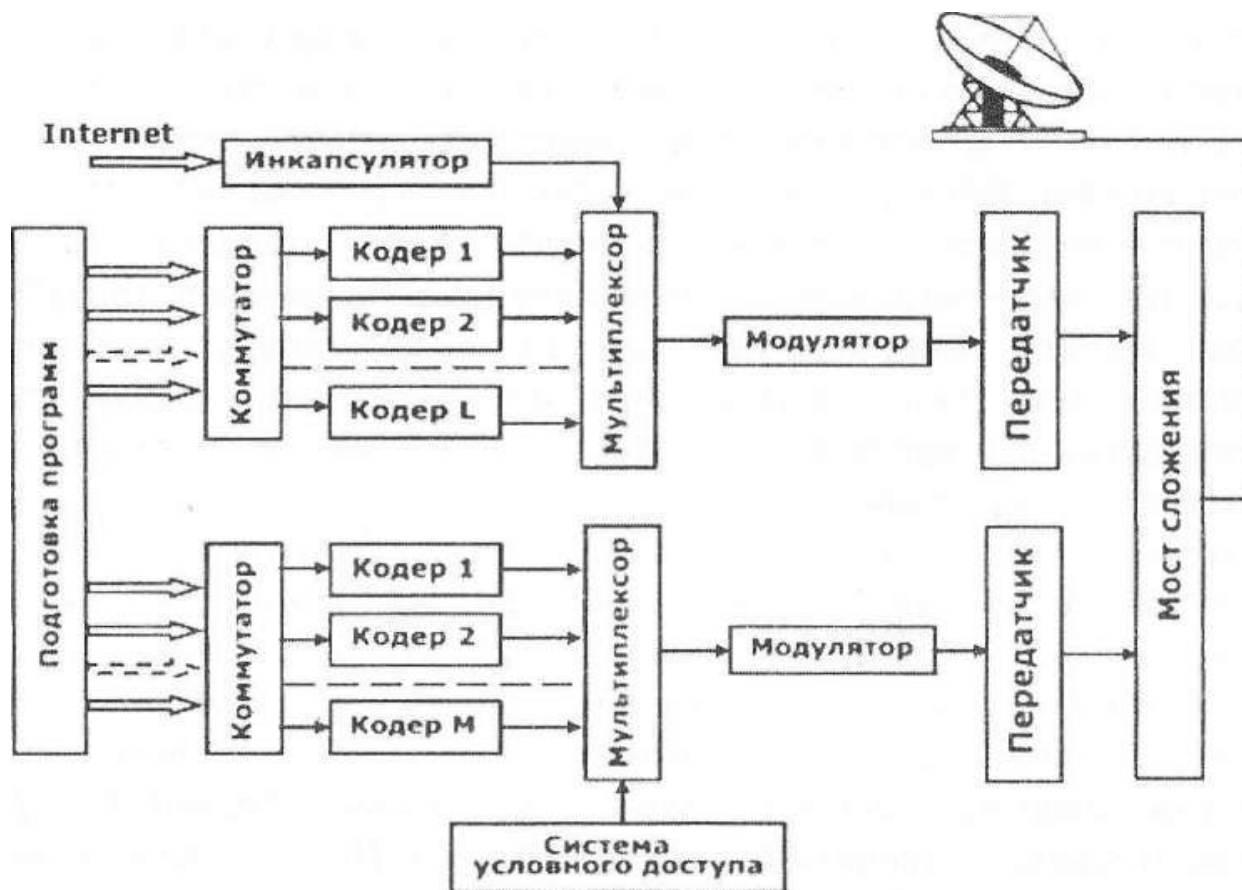


Рисунок 2 — Структурная схема передающей части системы цифрового вещания

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. 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 в передающем

центре, то передача внедренного звука, безусловно, будет более экономичным решением, чем отдельная 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.

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.

Литература

1. Маковеева М.М., Шинаков Ю.С. Системы связи с подвижными объектами: Учеб. пособие для вузов. - М: Радио и связь, 2002.
2. Спутниковая связь и вещание: Справочник.-3 изд., перераб. и доп. / В. А. Бартнев, Г. В. Болотов, В. Л. Быков и др., Под ред. Л. Я. Кантора – М.:Радио и связь, 1997.
3. Головин О. В., Чистяков Н. И., Шварц В., Хордон Агиляр И. Радиосвязь / Под ред. проф. О. В. Головина . – 2 изд. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005.

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. 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.

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 надёжности электронных приборов при повышении их мощности.

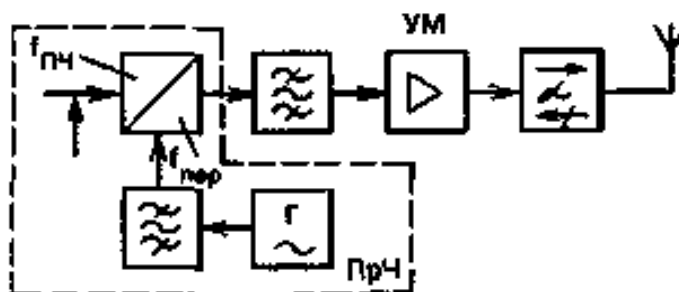


Рис. 1. Структурная схема передатчика БРТР

Передатчики большинства БРТР гетеродинного типа строят по традиционной схеме (рис. 1), состоящей из мощного преобразователя частоты и мощного усилителя с необходимым набором фильтрующих и согласующих элементов.

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. 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.

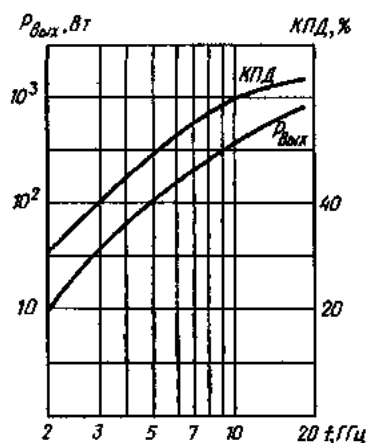


Рис.2. Зависимости максимальных значений выходной мощности и КПД от частоты для ЛБВ

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 многополюсных 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 БРТР, 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 БРТР 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 БРТР. 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 БРТР 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 пробоем 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 многополюсных 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 восьмиполюсники, 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 2^n , что обеспечивается применением $(2^n - 1)$ мостовых устройств. Используя различные варианты многополюсных 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.

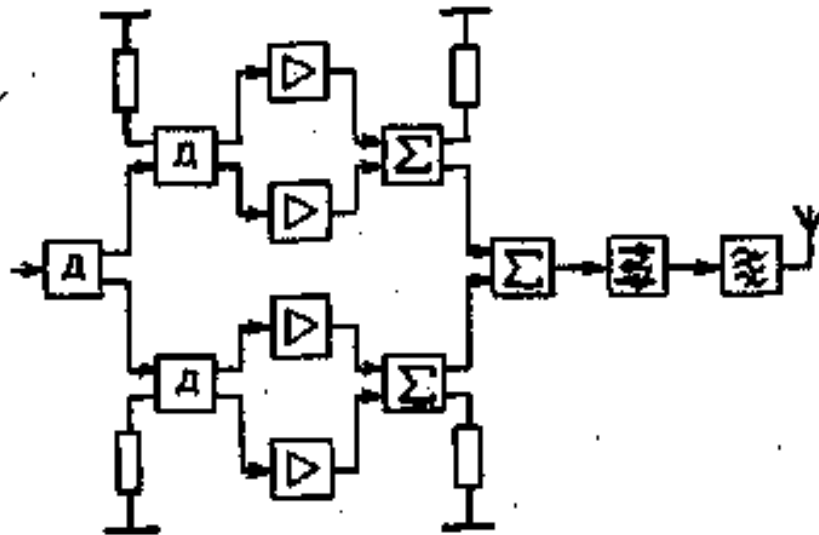


Рис. 5. Схема сложения мощностей четных усилителей:
 Д - делитель; Σ - сумматор

Для примера на рис. 5 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.

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 многополюсных 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 T_3 , поскольку приемные антенны ИСЗ ориентированы в ее сторону.

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

$$T_{\delta} = T_{з} + T_{атм} + bT_{косм} + T_{пр},$$

где $T_{атм}$ — эквивалентная температура шумов атмосферы, для антенн стационарных ИСЗ в диапазоне 1...20 ГГц изменяется в пределах 2...25°; $T_{косм}$ — 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; $T_{пр}$ — шумовая температура приемника БРТР.

Практический вывод относительно выбора T_{δ}

$$T_{\delta} = (5 \dots 10) T_{прЗС},$$

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

В таблице 2 приведены параметры МШУ, применяемых для БРТР.

Таблица 2

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. 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 твердотельных передатчиков БРТР по сравнению с электровакуумными?
5. Чем определяется эффективность работы передатчика построенного по методу суммирования мощностей?
6. Поясните назначение входных приёмных устройств БРТР?
7. Дайте характеристику основных параметров малошумящих усилителей (МШУ).

Практическая работа №4

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. Составить отчёт.

3. Содержание отчёта

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

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. 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. 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. 1. Сеть типа «точка-точка»

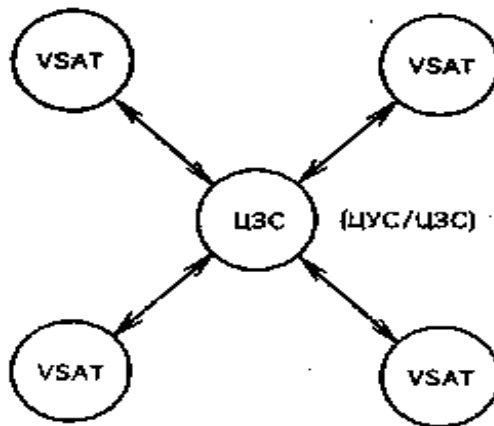


Рис. 2. Сеть типа «звезда»

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. 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.

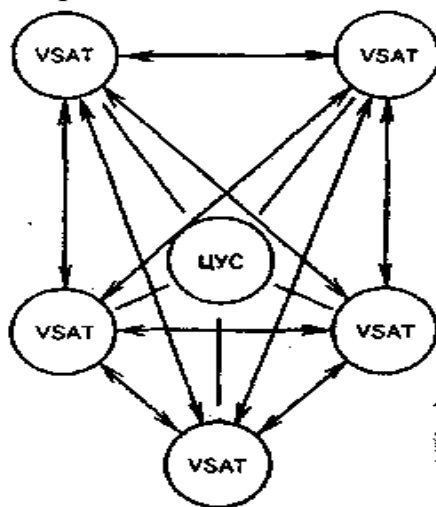


Рис. 3. Сеть типа «каждый с каждым»

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.

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 АЛОНА или более эффективным разновидностям этого протокола: тактированная АЛОНА (S-АЛОНА) и АЛОНА с резервированием (R-АЛОНА).

Как показано на рис. 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.

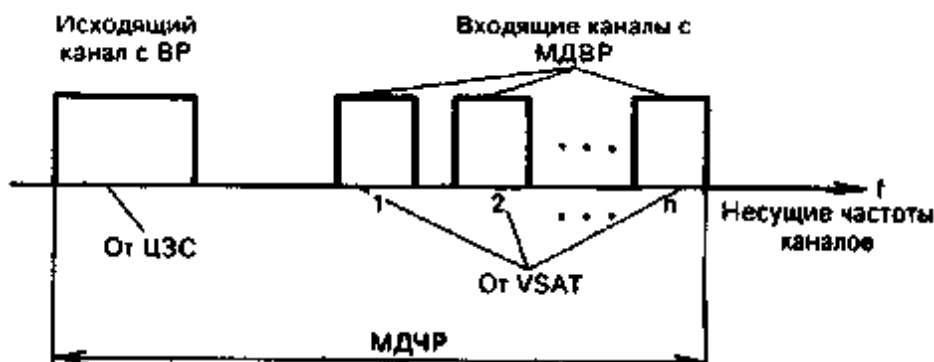


Рис. 14. Многостанционный доступ в сетях VSAT типа «звезда»

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 (BP) 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 МДВР: 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-ЦЗС, 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 пакетированной информации во входящих каналах 64/128 кбит/с, модуляция — ФМ-2/ФМ-4 (BPSK/QPSK).

Иногда в сетях для передачи телефонии входящие каналы VSAT-ЦЗС 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. 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.5. Функциональная схема станции VSAT-ТЛФ

АПКТ – аппаратура ПКТ; МШУ – малошумящий усилитель;

Пд – передача; Пм – прием; ПрЧ – преобразователь частоты;

ПЧ – промежуточная частота; ТЛФ – телефон; УМ – усилитель мощности;

УАТС – учрежденческая АТС

1. 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 «Кроссполяризационная 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.

2. 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 «вверх») 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 С/Ку 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.

3. Типовой блок внутренней установки БВ (см. рис. 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 $P_{\text{ош}} = 1 \cdot 10^{-6}$. 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.

4. 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 конечных 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) 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 канальным контроллером АПКТ терминалов VSAT.

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

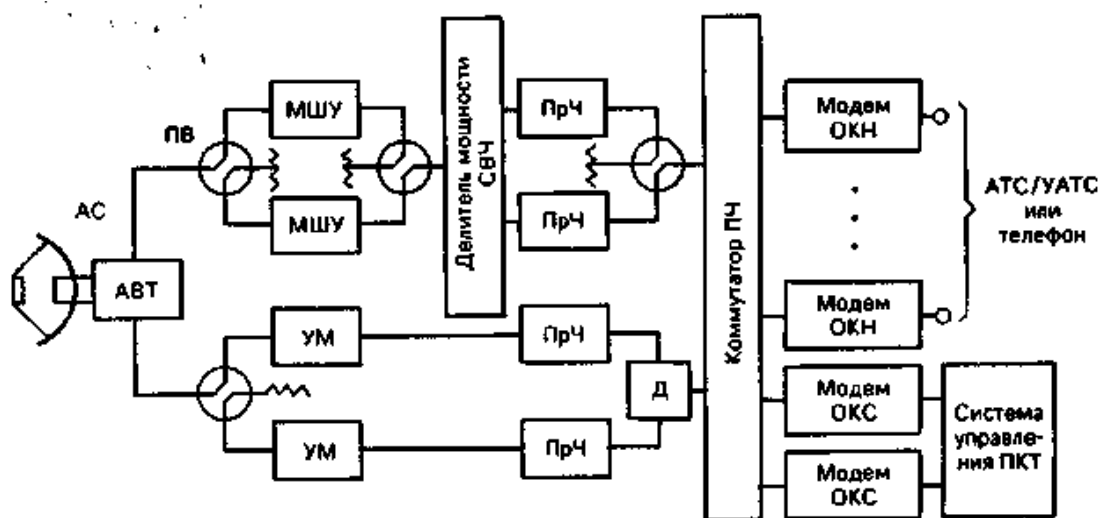


Рис. 12.6. Функциональная схема ЦУС/ЦЗС телефонной сети VSAT

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 система ПКТ рассчитана на обслуживание 256 дуплексных телефонных каналов; число обслуживаемых оконечных канальных блоков – до 2000 шт.;

5. Контрольные вопросы

1. Какие станции спутниковой связи относятся к классу земных станций VSAT?
2. Какие существуют варианты организации связей в сетях VSAT?
3. Как осуществляются функции контроля и управления в сети типа “звезда”?
4. Как осуществляются прямые соединения между станциями в сети “каждый с каждым”?
5. Поясните процедуру многостанционного доступа в сетях VSAT типа “звезда”
6. Область применения сетей VSAT

ЛИТЕРАТУРА

1. Маковеева М.М., Шинаков Ю.С. Системы связи с подвижными объектами: Учеб. пособие для вузов. - М: Радио и связь, 2002.
2. Спутниковая связь и вещание: Справочник.-3 изд., перераб. и доп. / В. А. Бартнев, Г. В. Болотов, В. Л. Быков и др., Под ред. Л. Я. Кантора – М.: Радио и связь, 1997.
3. Головин О. В., Чистяков Н. И., Шварц В., Хордон Агиляр И. Радиосвязь / Под ред. проф. О. В. Головина . – 2 изд. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003.