	Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком.
СПУТНИКОВОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ	Нелегальное копирование и использование данного продукта запрещено.
2015	
Электронный учебник	Автор: Бирюкова Ольга Владимировна
Рязань	
Рязанский колледж электроники	
2015	

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4
История развития	5
Введение	9
Раздел 1. Основы спутникового телевизионного вещания	
1.1. Основные термины и понятия	. 12
1.2. Общие сведения о современном спутниковом телевизионном	
вещании	
Вопросы для самопроверки	30
Раздел 2. Методы формирования и передачи спутниковых телевизионны	X
сигналов	
2.1. Аналоговый метод	
2.2. Цифро-аналоговый метод	
2.3. Цифровой метод	
Вопросы для самопроверки	. 47
Раздел 3. Антенны	49
3.1. Основные электрические характеристики приемных антенн	49
3.2. Зеркальные антенны	57
3.3. Плоские антенны	66
3.4.Опорно-поворотные устройства	78
Вопросы для самопроверки	83
Раздел 4. Конверторы	. 84
4.1.Общие сведения о конверторах	. 84
Вопросы для самопроверки	. 97
Раздел 5. Спутниковые приемники	. 98
5.1. Аналоговый спутниковый приемник	
5.2. Цифровой спутниковый приемник	
Вопросы для самопроверки	
Раздел 6. Системы спутникового телевидения	126
6.1. Оборудование систем коллективного пользования	
6.2. Распределительные сети коллективного приема малой емкости	
6.3. Российские системы спутникового телевидения	
Вопросы для самопроверки	

Раздел 7. Кодирование спутниковых каналов и их просмотр	163
7.1. Системы кодирования спутниковых каналов	163
7.2. Просмотр кодированных спутниковых каналов	168
Вопросы для самопроверки	182
Раздел 8. Спутниковое оборудование	183
8.1. Выбор и установка спутникового оборудования	
8.2. Измерительное оборудование для спутникового телевидения	202
Вопросы для самопроверки	206
Литература	207

#### Предисловие

Курс "Спутниковое телевидение" - один из курсов в системе подготовки техников по специальности 210308. Цель его – изучение теоретических основ оборудования спутникового телевидения, ДЛЯ приема спутниковых телевизионных программ, методов кодирования И декодирования телевизионного сигнала; антенных устройств для приема спутниковых каналов.

В работе над курсом студенты должны приобрести навыки принципов построения спутникового телевизионного вещания, способы установки и настройки спутникового оборудования, а также расчета линий связи (с использованием ЭВМ). По завершении изучения курса студент должен быть подготовлен к самостоятельному использованию и установке спутникового оборудования.

Для успешного усвоения материала дисциплины необходимо знание основных вопросов, излагаемых в курсах: "Радиотехнические цепи и сигналы", «Телевидение», «Радиоприемные устройства», «Радиопередающие устройства» и «Антенно-фидерные устройства».

Компакт-диск представляет собой интерактивное учебное пособие по курсу "Спутниковое телевидение". Кроме теоретической части курса и вопросов для самопроверки, учебное пособие содержит четыре практические работы в компьютерном исполнении с описаниями порядка их выполнения и краткими теоретическими сведениями. Вопросы для самопроверки в конце каждого раздела предназначены для лучшего усвоения изученного материала.

## История развития

Более шестидесяти лет назад было получено первое телевизионное изображение. Размер экрана был невелик, примерно со спичечный коробок, и изображение человека на нем было собственно лишь силуэтом.

Первые опыты с передачей изображения производились со следующими параметрами: изображение разлагалось на тридцать строк и двенадцать с половиной кадров, длина волны 56,5 м. В 1937 г. на передаваемой картинке уже можно было без проблем отличить мужчину от женщины (343 строки, 25 кадров), а в 1948 г. домохозяйки могли уже обсуждать прическу и украшения увиденной накануне телеведущей (625 строк и 50 кадров). Качество изображения было вполне удовлетворительным, и данный стандарт используется до сих пор.

Для увеличения мощности приема было принято решение об установке ретрансляторов. При создании сети наземных ретрансляционных станций их необходимо установить на расстоянии 100—150 км друг от друга. В масштабах нашей страны это, конечно, нереально и абсурдно. Для радиорелейных и кабельных линий также существуют очень серьезные ограничения и радиус их действия ограничен. Очевидно, что увеличение дальности работы ретранслятора возможно на некотором возвышении над поверхностью Земли.

Одновременно с повышением качества телевизионного оборудования шла работа над увеличением дальности приема телевизионного сигнала. В 1957 г. во время проведения Московского международного Фестиваля молодежи и студентов взлетают самолеты типа ЛИ-2, и с высоты 4000 м они транслировали на Минск, Киев и Смоленск передачу проходившего тогда в Москве грандиозного форума.

Вслед за этим первым удачным опытом в 1961—65 гг. самолетная ретрансляция использовалась в США для передачи учебных телевизионных программ в школы. В Корее и Иране проводились опыты с подъемом телевизионных ретрансляторов на привязных аэростатах. В СССР началось строительство мощных радиопередающих центров (5- 10 кВт) и небольших ретрансляторов (от 1 до 100 Вт). Они устанавливались в густо населенных районах и давали большой прирост телезрителей.

На 1 января 1961 г. было создано 100 мощных и около 170 маломощных передатчиков, что обеспечивало охват телевизионным вещанием примерно 35% населения страны. Через пять лет число станций возросло до 170 и 480 соответственно, количество телезрителей увеличилось только на 20%. Самым оптимальным решением проблемы увеличения числа зрителей, было, подъем ретранслятора как можно более выше над поверхностью Земли. Еще в 1947 г. наш соотечественник П. В. Шмаков высказал идею о "телевидении через ракетные снаряды и Луну" и оказался

совершенно прав. В 1965 г. первый советский спутник связи "Молния" был выведен на околоземную орбиту. Для трансляции программ со спутника была создана наземная приемная система "Орбита". Это были одни из первых шагов по использованию космической связи.

Спутник-ретранслятор вращается на вытянутой эллиптической орбите с апогеем в северном полушарии. Высота апогея составила 40 тыс. км, перигея — 500 км, угол наклона плоскости орбиты относительно плоскости земного экватора — 63,4°. Период обращения спутника "Молния" вокруг Земли составляет 12 часов. При этом в течение 8—9 часов на каждом нитке спутника охватывается большая часть территории страны. Как же это происходит? Из второго закона Кеплера следует, что относительно неподвижного земного наблюдателя спутник на большой перемещается медленно, а в перигее, на малой высоте, наоборот, очень быстро. Для обеспечения круглосуточного действия такого вида связи не обходимо иметь па орбите 3 спутника со сдвигом на 7—8 часов.

Каждый наземный приемный комплекс имеет большую параболическую антенну диаметром 12 м, изготовленную из специального алюминиевого сплава, и массой 5,5 т. Кроме этого, она установлена на полноповоротном опорном устройстве. Общий вес этого устройства составляет почти 50 т! Антенна должна все время перемещаться, отслеживая спутника. Поэтому она оснащена сложной автоматического и ручного наведения. Бортовой передатчик имеет выходную мощность всего 40 Вт. Для уменьшения уровня внутренних шумов приемника и увеличения его чувствительности, на входе установлен специальный малошумящий усилитель, охлаждаемый жидким азотом.

С выхода наземной станции "Орбита" телевизионный сигнал поступает на местный передатчик, который и обеспечивает трансляцию принятой программы. Следует отметить, что уже имелось 20 наземных станций. Кроме "Орбиты" создавались более простые и дешевые, ретрансляционные системы "Экран" и "Москва". В 1985 г. аудитория зрителей составила около 250 млн. человек. Их обслуживало сотни тысяч километров радиорелейных и кабельных линий, почти 500 мощных и около 5000 маломощных передающих станций, 90 станций космической связи типа Орбита', более 3 тысяч станций "Экран", более 500 станций "Москва". Вместе с тем примерно 8% населения, или около 22 млн. человек, все еще не имели возможности смотреть телевизионные передачи или принимали их с плохим качеством изображения. Применение всей этой дорогостоящей системы имеет смысл для крупных городов и районов с высокой плотностью населения.

Кстати, этот комплекс имеет еще один существенный недостаток: он не может предавать изображение на большое количество каналов.

Теперь телевизионные программы можно принимать на антенну диаметром всего лишь 60 см.

Самое главное качество геостационарной орбиты состоит в том, что она имеет форму окружности, лежащей в плоскости экватора Земли, с высотой над ее поверхностью 35875км; направление вращения спутника совпадает с направлением суточного вращения Земли, а период обращения равен 24 часам. Следовательно, для недвижного наблюдателя на земной поверхности спутник кажется неподвижным, зависшем в строго определенной точке небосклона.

Первые искусственные спутники земля (ИСЗ) выводились носителями, мощности которых не хватало для вывода груза на геостационарную орбиту. Через несколько лет космической эры появились более мощные носители, которые, дополнив отдельным разгонным блоком, уже можно было использовать для вывода спутников на геостационарную орбиту. Сначала ракетоноситель выводит спутник на промежуточную орбиту, а затем с помощью разгонного блока— на геостационарную. В Советском Союзе работы по созданию геостационарных спутников были завершены только в начале 70-х годов, т.к. создание гражданских прикладных космических являлось приоритетным направлением государственной аппаратов не освоению космоса. В конце 60-х годов разработкой программы по научноотечественных геостационарных спутников занялось производственное объединение прикладной механики НПО ПМ (Красноярск-26), где шла разработка одновременно нескольких аппаратов.

Первый в СССР стационарный спутник "Молния" был запущен 29 июля 1974 г. и имел экспериментальное назначение. Затем 22 декабря 1975 г. "Радуга" последовал запуск спутника связи для передачи программ Центрального TΒ на сеть станций «Орбита». Ему был присвоен "Стационар-1". Международный регистрационный индекс Спутник находился на орбите, близкой к круговой — период обращения составлял 23 ч. 54 мин. 26 октября 1976 г. на геостационарную орбиту впервые был выведен ИСЗ. Предназначен он был для распределительной системы **"**Экран".

Еще одним достоинством построения спутниковых систем связи с помощью геостационарной орбиты является отсутствие эффекта Доплера (при перемещении радиопередатчика относительно приемника происходит изменение частоты передаваемого сигнала). Также добавим высокую стабильность уровня входного сигнала, что также крайне Естественно, отпадает необходимость перенастройки с одного спутника па другой, как в случае высокоэллиптической орбиты. Однако и здесь есть своя "ложка дегтя". Спутники, выведенные на геостационарную орбиту, плохо обслуживают приполярные области. Еще одной проблемой является расположение космодрома. Чем он дальше находится от оси экватора, тем более мощный требуется носитель, что увеличивает затраты на выведение спутника-ретранслятора спутника. В целом использование геостационарной орбите имеет ряд преимуществ:

- 1) устройство и эксплуатация наземного комплекса упрощается, т.к. не требуется непрерывного слежения за спутником;
- 2) повышается надежность систем электропитания, поскольку спутник находится вне радиационного поля Земли, вредно воздействующего на его солнечные батареи;
- 3) неизменное (35 875 км) расстояние от спутника до Земли обеспечивает постоянство уровня сигнала на входе приемных устройств;
- 4) упрощается использование спутника-ретранслятора, как звена в сети связи.

В середине 70-х годов фактически существовало две космические супердержавы: США и ССР. Идея передачи телевизионного сигнала по спутниковым каналам, разумеется, развивалась и у них и у нас. Однако не совсем одинаково. На Западе" и в Свете" в конце 80-х начале 90-х годов простой житель за сравнительно небольшие деньги мог принимать сигнал не менее десятка программ на родном языке.

#### Введение

Спутниковое телевизионное вещание — это передача телевизионных и радиопрограмм от наземных передающих станций к приемным через спутник-ретранслятор. космический Отличительной особенностью TB является возможность спутникового ДЛЯ телезрителя принимать интересующую его программу с любого спутника. При наземном ТВ зритель программы с телецентра, который находится радиовидимости, не превышающей, обычно, 100 км.

Спутниковое ТВ вещание осуществляется двумя способами:

- 1. Принимаемый со спутника ТВ сигнал поступает на местный телецентр, который обеспечивает его дальнейшую ретрансляцию. В этом случае могут использоваться спутники с невысокой мощностью передатчика и низкой точностью удержания КА на орбите. Такие ТВ сигналы как правило не принимаются на индивидуальные приемные устройства из-за высокой стоимости и сложности приемной аппаратуры..
- 2. Прием спутникового ТВ сигнала осуществляется на индивидуальную приемную установку с антенной малого размера. Для обеспечения такого приема необходимо использовать спутник с относительно высокой мощностью передатчика и хорошей точностью удержания на орбите, что бы исключить приемные следящих устройств. Такой вариант вещания называется непосредственным телевизионным вещанием (НТВ).

Развитие телевизионного вещания на современном этапе характеризуется все расширяющимся использованием спутниковых систем связи, что объясняется рядом их неоспоримых преимуществ.

Современное эфирное телевидение ориентировано на использование аналоговых сигналов стандартов NTSC, SECAM, PAL причем обеспечение высокого качества передачи и приема телевизионных сигналов сопряжено со значительными техническими И экономическими трудностями, обусловленными необходимостью создания сети ретрансляторов. Улучшить ситуацию стало возможно лишь благодаря использованию спутниковой ретрансляции, при которой обеспечивается охват больших территорий и использование пере даваемого сигнала неограниченным числом приемных установок. Еще одним важным фактором является ее экономичность. Несмотря на высокую стоимость изготовления, и запуска спутниковретрансляторов, ряд достоинств спутниковых систем телевизионного вещания делает их экономически целесообразными. Среди этих достоинств, в первую очередь, необходимо отметить срок активного существования (7— 10 лет), отсутствие энергетических затрат при движении спутника по орбите, использование солнечной энергии для работы систем электропитания.

Дальнейшее развитие аналоговых методов уже не в состоянии обеспечить сколько-нибудь серьезного улучшения качества телевизионного

сигнала, к которому предъявляются все возрастающие требования. Это приводит к необходимости использования цифровых методов и, как следствие, решения главной проблемы цифрового телевидения — сокращения избыточности ТВ-сигнала.

В связи с наличием известных технических трудностей наибольшее распространение первоначально получил цифро-аналоговый метод, основанный на использовании временного разделения составляющих ТВ-сигнала и сигналов звукового сопровождения, причем последние передаются в цифровом виде (семейство стандартов МАС). Современное состояние спутниковых телевизионных систем характеризуется переходом к цифровому вещанию, основанному на стандарте МРЕС-2.

Программы каких спутников смотрят в России и других странах бывшего СССР, где, по мнению экспертов, установлено около 150тыс., спутниковых систем? Самым популярным спутником, безусловно, является Hot Bird 1 (13° в. д.), который был запущен в 1995г. Прием с него возможен европейской территории бывшего на большей части **CCCP** использовании антенн диаметром до одного метра. В настоящее время (весна 1997г.) в позиции 13° в. д. находятся три спутника, и их число в ближайшие 15—2 года должно быть увеличено до шести. Сейчас с этих спутников можно принимать от 15 до 28 аналоговых некодированных программ (в зависимости от точки приема).

Однако, эти спутники транслируют программы новостей (Euronews, EBN), общеразвлекательные (BBC, NBC, TV-5, Arte, Po1sat), спортивные (Eurosport) и музыкальные программы (VIVA, VIVA-2, Орух), но фактически не транслируют фильмовые или, например, детские. Необходимо отметить и наметившуюся тенденцию к вытеснению аналоговых программ цифровыми. На новом спутнике Hot Bird 2, запущенном в ноябре 1996 г., из задействованных на данный момент 13 транспордеров только 4 работают в аналоговом режиме. А для просмотра цифровых программ необходима аппаратура, которая массовому российскому потребителю пока не по карману (ее цена около 1000 USD).

Спутники Astra расположенные в позиции 19° в. д., занимают лидирующее положение по популярности в Западной и Центральной Европе. Однако прием с них на небольшие антенны возможен только в самых западных районах бывшего СССР: Западной Украине, Белоруссии, Калининграде и Литве. Новые спутники Astra 1E и Astra 1F имеют специальный восточный луч (который планируется и на последующих спутниках этой серии — Astra 1G и Astra 1M), что позволяет использовать антенны следующих диаметров: в Москве —75 см в С.-Петербурге и Киеве — 90 см. Однако все каналы, передаваемые этим лучом, являются цифровыми.

В позиции 0.6—  $1^{\circ}$  з. д. находятся спутники Intelsat 707, Thor 1 и Thor 2, TV-Sat 2, которые представляют большой интерес для телезрителей. Они

транслируют такие известные фильмовые каналы, как Filmnet и TV 1000. Есть и ряд других интересных программ: MTV, Cartoon Network, BBC Prime, Discovery, Sci-Fi Chanell. Практически все каналы закодированы, но для их просмотра могут быть использованы широко распространенные недорогие пиратские декодирующие карточки. Спутники Thor 1, Thor 2 и TV-Sat 2 имеют луч, который захватывает северо-западные районы бывшего СССР. Прием программ со спутника Intelsat 707 возможен на европейской части России, в Прибалтике, Белоруссии и на Украине.

Для жителей южных районов бывшего СССР, особенно государств Средней Азии, представляет интерес спутник PAS-4. С него принимаются следующие интересные программы: Asia Busines News, Discovery, BBC World, CNN, MTV.

Большой интерес для телезрителей представляют спутники «Галс» (36° в. д.). Через них транслируется платный пакет программ "НТВ+", который состоит из четырех каналов: зарубежного, отечественного кино, а также спортивный и музыкальный каналы. С февраля 1997 г. введено кодирование сигнала.

## 1.Основы спутникового телевизионного вещания.

## 1.1.Основные термины и понятия.

#### Синусоидальные электромагнитные волны

Все радио- и телевизионные сигналы состоят из электрических и магнитных волн, которые распространяются в свободном пространстве со скоростью света (примерно 186000 миль в секунду или 3 \* 10<sup>8</sup> м/с). Эти волны состоят, в свою очередь, из электрических полей (Е), измеряемых вольтах на метр, и магнитных полей (Н), измеряемых в амперах на метр. оставляющие полей Е и Н всегда расположены под прямым углом друг другу, а направление распространения волн — под прямым углом обоим полям. По мере распространения в пространстве амплитуда волн изменяется синусоидально. На самом деле несинусоидальную электромагнитную волну создать невозможно. (Важность этого положения прояснится позже, когда будет обсуждаться тема модуляции.)

#### Синусоидальная волна

Синусоидальная волна (см. рис. 1.1) характеризуется следующими основными параметрами:

- иикл одна полная электрическая последовательность;
- *пиковое значение (Vp)* максимальный положительный или отрицательный уровень, называемый также амплитудой;
- nepuod(t) время одного полного цикла;
- *частота* (*f*) число циклов в секунду, которое измеряется в герцах (Гц). Один герц равен одному циклу в секунду. Из этого следует, что период и частота являются обратными величинами:

t=1/f

Для удобства часто используются следующие множители герц:

- килогерц (к $\Gamma$ ц) =  $10^3 \Gamma$ ц =  $1000 \Gamma$ ц;
- мегагерц (М $\Gamma$ ц) =  $10^6 \Gamma$ ц =  $1000000 \Gamma$ ц;
- гигагерц (ГГц)=  $10^9$  Гц =  $1\ 000\ 000\ 000$  Гц;
  - действующее значение (RMS) составляет 0,707 от пикового значения, и если не оговариваются другие условия, то при любой ссылке на напряжение или ток в технической литературе обычно имеется в виду эта величина. Например, напряжение питания в Великобритании имеет синусоидальную форму, значение напряжения установлено на уровне 240 В, поэтому пиковое значение составляет 240/0,707 = 339 В. Те же расчеты для России,

где напряжение питания составляет 220 В, дают следующий результат: 220/0,707=311 В.

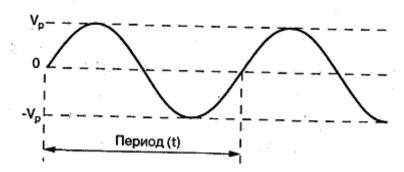


Рисунок 1.1. Синусоидальная волна.

#### Угловая скорость

Угловая скорость ( $\omega$ ) — это косвенный способ выражения частоты:  $\omega = 2\pi f$  рад/с.

Вместо подсчета числа полных циклов угловая скорость показывает, насколько быстро изменяется векторный угол.

Выражение, характеризующее непрерывное (мгновенное) значение v синусоидальной волны в любой точке цикла, имеет следующий вид:

$$V=V_p*sin\theta$$

где  $V_p$  — пиковое значение напряжения (амплитуда);

 $\theta$ — угол, измеряемый в радианах (не в градусах).

Цикл составляет  $2\pi$  радиан, и, поскольку синусоидальная волна может быть визуально представлена как вектор вращения за цикл, выражение, приведенное выше, может быть записано в обозначениях частоты и угла:

$$V=V_p*sin2\pi ft$$

Для краткости  $2\pi f$  часто обозначают угловой скоростью  $\omega$ . Таким образом, выражение для синусоидальной волны будет иметь следующий вид:

$$V=V_p*sin\omega t$$

## Длина волны

Поскольку электромагнитные волны распространяются с известной скоростью и изменяются синусоидально, можно рассчитать, насколько далеко волна, имеющая частоту f, распространится за один цикл. Обозначая скорость света буквой c, длину волны  $\lambda$  можно выразить формулой:

$$\lambda = c/f$$

Отсюда следует, что чем выше частота, тем короче длина волны спутниковом ТВ вещании используются частоты порядка 10 ГГц, поэтому длина волны может быть вычислена следующим образом:

$$\lambda = (3*10^8)/(10*10^9) = 3*10^{-2} = 3$$
cm.

На практике используемые частоты не обязательно выражаются в круглых числах, например 10 ГГц. Тем не менее длины волн исчисляются в сантиметрах, фактически они и называются сантиметровыми.

#### Несущая частота

Предположим, что требуется передать звуковой сигнал частотой 1000 Гц. Теоретически электрический генератор и усилитель могут быть собраны и настроены на 1000 циклов в секунду, а выход может быть подсоединен к куску провода, действующего в качестве примитивной антенны, К сожалению, чтобы получить приемлемую эффективность излучения, нужно иметь антенный провод, длина которого примерно равна длине волны соответствующей частоте 1000 Гц. Используя выражение, приведенное выше, получаем:

$$\lambda = c/f = (3 * 10^8) / (10^3) = 3 * 10^5 \text{M} = 300 000 \text{ M}.$$

Помимо абсолютной фантастичности подобной антенны, волны на таких низких частотах подвержены сильному затуханию из-за поглощения земной поверхностью. Другой важной причиной для использования высоких частот является необходимость считаться с шири ной полосы частот, о чем будет говориться позже.

Решение этой проблемы состоит в использовании волны высокой частоты для «переноса сигнала». А чтобы «передать информацию» (в данном случае 1000 Гц), следует изменить одну или несколько ее характеристик. Волна высокой частоты упоминается как несущая частота (f<sub>c</sub>) просто потому, что она «несет» информацию. Метод наложения этой информации низкой частоты на несущую частоту называется модуляцией. Существует два основных вида модуляции — амплитудная (АМ) и частотная (ЧМ).

## Амплитудная модуляция

Модулирующий сигнал низкой частоты (см. рис. 1.2) изменяет амплитуду несущей частоты в передатчике, прежде чем полный сигнал посылается на антенную систему. Если амплитуда модулирующего сигнала вызывает изменение амплитуды несущей между удвоенным значением ее немодулированного размаха и нулем, то говорится, что модуляция составляет 100%. Если амплитудная модуляция превышает 100%, происходит сильное искажение сигнала.

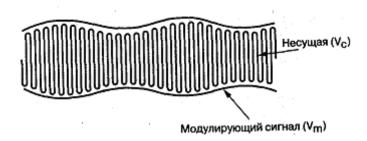


Рисунок 1.2. Амплитудная модуляция.

#### Коэффициент модуляции

Коэффициент модуляции (m) — это отношение амплитуды модуляции  $V_{\rm m}$  к амплитуде несущей  $V_{\rm c}$ ,

$$m=V_m/V_c$$

Когда m=1, модуляция составляет 100%. Хотя такая модуляция имеет некоторые преимущества, применять ее на практике слишком опасно из-за возможной перемодуляции, поэтому величина модуляции в 80% (m = 0,8) обычно рассматривается как граница безопасной работы.

#### Боковые полосы частот

На рис. 1.2 модулирующий сигнал показан как сигнал простой синусоидальной формы, однако в действительности он бывает более сложным. Следовательно, и огибающая (форма) сигнала будет несинусоидальной. Но, как известно, через пространство могут передаваться только синусоидальные волны. Необходимо как-то объяснить возникшее противоречие, и немного школьной математики при этом не помешает.

Немодулированная несущая синусоидальной волны имеет следующую форму мгновенного значения:

$$v{=}V_{p}{*}sin\omega_{c}t$$

Амплитуда этой волны  $V_p$  изменяется под воздействием модулирующей частоты, и в этом случае:

$$V_p = V_m * \sin \omega_m t$$

Подставив это выражение в первое уравнение, получим:

$$v {=} V_m {*} sin \omega_m t {*} sin \omega_c t$$

Одним из общеизвестных тригонометрических тождеств является следующее:

$$\sin A*\sin B=1/2\cos(A-B)-1/2\cos(A+B)$$

Таким образом, сигнал модулированной несущей разделяется в пространстве на три синусоидальные составляющие:

- несущая частота;
- частота, равная сумме несущей и модулирующей частот. Эта составляющая называется верхней боковой полосой;
- частота, равная разности несущей и модулирующей частот. Эта составляющая называется нижней боковой полосой.

Например, если несущая частота равна 1 000 000 Гц, а модулирующая частота равна 1000 Гц, то верхняя боковая полоса будет иметь вид синусоидальной волны частотой 1 001 000 Гц, а нижняя — 999 000 Гц. В действительности модулирующая частота редко бывает такой простой формы, как синусоидальная волна частотой 1000 Гц. Более вероятно, что она ИЗ речевой ИЛИ визуальной информации, состоять представляет собой сложную смесь различных частот. Однако это не лишает законной силы прежние рассуждения. Это только означает, что по обе стороны от несущей частоты вместо одной частоты верхней и нижней полос будет в буквальном смысле полоса синусоидально изменяющихся частот. Например, частоты музыкального сигнала имеют диапазон от 20 Гц до 18 кГц. Тогда, чтобы передать звук высокого качества, верхняя боковая полоса должна содержать частоты, которые располагаются в диапазоне от 20 Гц до 18 кГц выше несущей частоты, а нижняя боковая полоса — частоты в диапазоне от 20 Гц до 18 кГц ниже несущей.

Передавать телевизионные сигналы сложнее, потому что изображения содержат намного больше информации, чем звук. Боковые полосы частот тянутся на несколько мегагерц по обе стороны от несущей частоты, и чем шире боковая полоса передаваемого сигнала, тем большее пространство он занимает в частотном спектре. Поэтому расположенные рядом вещательные станции должны работать на частотах, достаточно удаленных друг от друга, чтобы избежать интерференции (наложения сигналов) от соответствующих сигналов боковых полос. При этом частоты несущих должны постоянно повышаться, по мере того как конкурирующие станции осваивают новое пространство.

Решить проблему переполнения эфира можно разными способами. Например, не передавать обе боковые полосы, поскольку вся требуемая информация содержится в каждой из них, при условии, конечно, что одновременно передается несущая частота. Этот способ называется передачей с одной боковой полосой SSB. Есть и более радикальный метод: уменьшить амплитуду несущей частоты в передатчике почти до нуля и использовать ее для синхронизации местного генератора не сущей на приемной стороне. Такой метод называется методом пере дачи одной боковой полосы с частично подавленной несущей.

#### Частотная модуляция

В то время как амплитудная модуляция изменяет огибающую сигнала в «вертикальной плоскости» частотная модуляция (ЧМ) происходит в «горизонтальной плоскости» сигнала (см. рис. 1.3). Амплитуда несущей поддерживается постоянной, а частота изменяется пропорциоально амплитуде модулирующего сигнала.



Рисунок 1.3. Частотная модуляция.

#### Девиация частоты

Максимальная величина, на которую частота несущей возрастает или убывает под воздействием амплитуды модулирующего сигнала, называется девиацией частоты. Эта величина зависит исключительно от амплитуды (пикового значения) модулирующего напряжения. При спутниковом ТВ вещании сигнал, излучаемый на Землю, имеет номинальное значение девиации частоты около 16 МГц/В и ширину полосы частот, занимаемую информацией о передаваемом изображении, около 27 МГц.

#### Индекс модуляции

Индекс модуляции (m) — это отношение девиации частоты к высшей модулирующей частоте  $f_m$ :

$$m=f_d/f_m$$
.

В отличие от амплитудной модуляции при ЧМ нет необходимости ограничивать максимальную величину индекса модуляции единицей.

#### Шумы Джонсона

ЭТО любое нежелательное случайное электрическое возмущение. Он проникает повсюду и является главной проблемой при разработке электроники. Такой шум возникает в обычных электрических цепях, особенно в цепях с резистором, при любых значениях температуры выше нуля по Кельвину (0 K). Этот мельчайший, не всегда незначительный тепловой шум, называемый шумом Джонсона, обнаруживается (и может быть измерен как ЭДС) на выходных концах цепи. Причина шума — хаотические колебания молекул внутри корпуса резистора, которые невозможно прекратить. Хотя приведенное ниже выражение не

является особенно важным в данном случае, его стоит рассмотреть, чтобы обнаружить связь между шумами ЭДС и температурой.

RMS - значение шума Джонсона =  $(4ktBR)^{1/2}$ 

где t — абсолютная температура по Кельвину (комнатная температура составляет около 290 K);

k— постоянная Больцмана = 1,38 \*  $10^{-23}$ ;

R - величина резистора в омах;

В — ширина полосы частот прибора для измерения величины ЭДС.

Расчет шума от резистора в один мегаом при комнатной температуре приводит к величине около 0,4 мВ. Она может показаться не большой, но ее относительное значение более важно, чем абсолютное. Если полезный сигнал будет такого же порядка, как данная величина (а он может быть и намного меньше), то он потонет в шумах. Согласно рассматриваемому выражению, которое, кстати, распространяется не только на материалы искусственного происхождения, шум зависит от температуры и полосы частот прибора для измерения его величины. Таким прибором является станция приема телевещания. Боковые полосы частот при передаче сигнала высокого качества отличаются большой шириной, поэтому приемная аппаратура также должна иметь широкую полосу частот для обработки, поступающей информации. В этих условиях попадание шумов на вход цепи может серьезно ограничить качество приема.

Кроме шумов Джонсона, существует много других видов шумов (включая шумы Земли и шумы искусственного происхождения), о которых говорится в следующих разделах книги.

## Отношение сигнал/шум

Отношение сигнал/шум (S/N) это отношение уровня ЭДС полезного сигнала к уровню ЭДС любого существующего шума, которое должно быть как можно более высоким. Если величина этого отношения падает до единицы или ниже, то сигнал передавать практически бесполезно. (В некоторых случаях можно использовать довольно дорогостоящий метод воссоздания компьютером «сигнальной среды», но для национальной системы спутникового ТВ вещания это неприемлемо.)

## Сравнение ЧМ и АМ

Существуют два свойства АМ, из-за которых ее использование в прошлом было достаточно популярным:

• схема демодуляции в приемном устройстве, называемая выпрямителем, достаточно проста. Требуется только диод для

отсечения одной полуволны от полного сигнала и фильтр нижних частот для удаления остатков несущей частоты;

• ширина боковых полос относительно невелика, поэтому передача сигнала не занимает слишком много пространства в частотном спектре.

Самым серьезным недостатком АМ является шум (или, по крайней мере, большая его часть), который состоит из изменений амплитуды. Иными словами, любые существующие шумы ЭДС располагаются на вершине огибающей сигнала, как это показано на рис. 1.4. Поэтому для уменьшения уровня шумов необходимо либо увеличить отношение сигнал/шум путем более тщательной разработки приемных устройств, либо использовать более грубые методы, ухудшающие качество сигнала, например ограничение полосы пропускания.

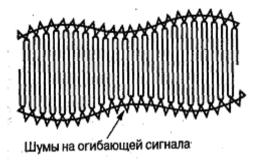


Рисунок 1.4. Шумы на АМ сигналах.

С другой стороны, ЧМ часто считают свободной от шумов, что в действительности неправильно. Передача ЧМ сигнала также подвержена воздействию шумов, как и передача АМ сигнала. Однако благодаря методу, которым происходит наложение информации на несущую частоту, большая часть шумов может быть устранена схемой приемного устройства. Поскольку шумы располагаются на внешней стороне ЧМ сигнала, можно срезать края верхней и нижней частей принимаемого сигнала, не нарушая информации, которая, скорее всего, находится внутри сигнала, а не на его краях. Такой процесс отсечки называется ограничением амплитуды.

Недостатком ЧМ является требование широкой полосы частот для передачи сигнала. По сути, передача ЧМ сигнала возможна только в том случае, когда частота несущего сигнала относительно высока. Так как спутниковое вещание осуществляется на частотах значительно выше 1 ГГц, этот недостаток можно считать несущественным.

Нельзя отрицать, что схемные решения, которые требуются для извлечения информации с ЧМ несущей, являются, мягко говоря, достаточно сложными. Схема, выполняющая такую функцию, называется ЧМ демодулятором. Существуют различные схемные решения для демодуляции ЧМ сигналов, такие как дискриминаторы, детекторы отношения и схемы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ).

#### Децибелы

С помощью децибелов (дБ) отношение между двумя мощностями можно выразить и другим, часто более удобным способом. Вместо фактического отношения используется логарифм отношения по основанию 10:

дБ= 
$$10 \log P_1/P_2$$
.

Результат будет с положительным знаком, если  $P_1$  больше, чем  $P_2$  и с отрицательным, если  $P_1$  меньше, чем  $P_2$ . Чтобы исключить проблему, связанную с вычислением отрицательных логарифмов, большую из двух мощностей ставят в числитель, а знак определяют позже в соответствии с правилом, приведенным выше.

Пример

Если 
$$P_1 = 1000$$
, а  $P_2 = 10$ , то дБ = 10 од  $1000/10 = 10\ 100 = +20\ дБ$ 

(Если  $P_1 = 10$ , а  $P_2 = 1000$ , абсолютное значение в децибелах будет тем же самым, но записывают его как —20 дБ.)

Использование децибелов вместо фактических величин отношений имеет следующие преимущества:

- поскольку слух человека реагирует на изменения интенсивности звука логарифмически, использование децибелов является более естественным. Например, если выходная мощность усилителя звука возрастает с 10 до 100 Вт, на слух это не будет восприниматься как десятикратное увеличение;
- децибелы удобно использовать для уменьшения размеров в обозначениях больших чисел. Например, коэффициент усиления в 10 000 000 раз будет равен всего лишь 70 дБ;
- при прохождении от антенны через различные каскады в приемном устройстве сигнал подвергается усилению и потерям. При выражении каждого коэффициента усиления и потерь соответственно в положительных и отрицательных значениях децибелов общий коэффициент усиления легко рассчитать при помощи алгебраического сложения. Например, (+5)+(-2)+(+3)+

$$+(-5.5)=5.5$$
дБ.

Ниже приведены некоторые из наиболее часто используемых значений децибелов:

Децибелы, дБ 0,0	Соответствующее увеличение мощности
0,0	1,00
0,5	1,12
1,0	1,26
2,0	1,57
3,0	1,99
6,0	3,98
12,0	15,85
15,0	31,62
18,0	63,09
21,0	125,89
50,0	100 000
100,0	10 000 000 000

## Напряжение, выраженное в децибелах

Хотя децибелы чаще используют для выражения отношений мощностей, иногда в них удобно выразить отношение напряжений. В таком случае выражение будет иметь следующий вид:

дБ = 
$$20 \log V_1/V_1/$$

В этом выражении используется цифра 20 вместо 10, так как мощность пропорциональна квадрату напряжения, поэтому постоянный Коэффициент будет составлять не 10, а 20.

# 1.2.Общие сведения о современном спутниковом телевизионном вещании.

## Принципы построения спутниковых систем связи

Спутники связи обращаются вокруг Земли по орбитам, плоскости которых проходят через центр земного шара. В зависимости от угла между плоскостями орбиты и земного экватора, называемого наклонением различают полярные ( $i=90^{\circ}$ ), экваториальные (i=0) и наклонные ( $0 < i < 90^{\circ}$ ) орбиты спутников (рис. 1.5).

В системах космической связи широко используются высокие эллиптические орбиты со следующими параметрами: высота апогея  $H_a$ =40000 км, перигея —  $H_n$ =500 км, наклонение i=63°. Такая орбита характеризуется периодом обращения спутника вокруг Земли, равным 12 ч, поэтому ее апогей всегда находится над одним и тем же меридианом. Это облегчает сопровождение спутника и позволяет на каждом втором его нитке организовывать сеансы связи в одно и то же местное время. Большая высота апогея обеспечивает длительное время полета над находящейся под ним территорией и, следовательно, большую продолжительность сеанса связи.

Преимуществами систем связи, в которых используются эллиптические орбиты, являются простота и незначительные энергетические затраты на запуск спутника, поэтому он может производиться небольшой ракетойносителем. Кроме того, эти системы связи могут обслуживать приполярные районы.

Однако, во-первых, для обеспечения круглосуточной связи такая система требует использования нескольких спутников — как минимум трех, — что значительно усложняет управление ею. Во-вторых, для обеспечения непрерывной связи, передающие и приемные антенны наземных станций должны быть все время направлены на КА. Для этого используются специальные устройства наведения и сопровождения, обеспечивающие поворот антенны одно временно с перемещением спутника. Наличие таких устройств увеличивает стоимость антенных систем и снижает надежность работы.

Значительные преимущества предоставляет использование КА, расположенного на так называемой геостационарной орбите, находящейся в плоскости экватора и имеющей нулевое наклонение круговой орбиты (рис. 1.5) с радиусом 35 785 км. Такой спутник совершает один оборот вокруг Земли точно за одни земные сутки. Если направление его движения совпадает с направлением вращения Земли, то с поверхности Земли он кажется неподвижным.

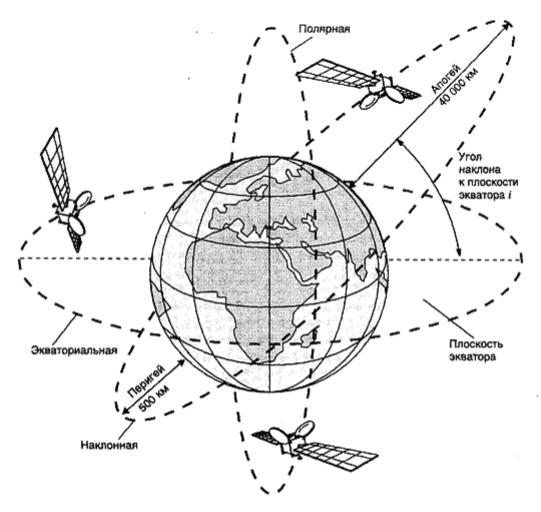


Рисунок 1.5. Типы орбит КА

Ни при каком другом сочетании указанных параметров орбиты нельзя добиться неподвижности КА относительно наземного наблюдателя. Антенны станций, работающих с геостационарным спутником, не требуют сложных систем наведения и сопровождения, а в случае необходимости могут быть установлены устройства для компенсации небольших возмущений орбиты.

Благодаря этому обстоятельству в настоящее время почти все спутники связи, предназначенные для коммерческого использования, находятся на геостационарной орбите. Примерно в одной позиции на одной географической долготе могут находиться несколько КА, расположенных на расстоянии около 100 км друг от друга. Например, семь спутников серии Astra размещены в позиции 19° в. д. Отметим, что в ближайшее время их число будет увеличено до восьми.

Спутниковая линия связи с ретранслятором на геостационарной орбите имеет ряд серьезных преимуществ, как-то:

- осуществление непрерывной круглосуточной связи;
- отсутствие устройства сопровождения КА в антенной системе наземного комплекса;
- высокая стабильность уровня сигнала в радиоканале;

- отсутствие эффекта Доплера;
- простота организации связи в глобальном масштабе.

Недостатками такой линии связи являются перенасыщенность геостационарной орбиты на многих участках, а также невозможность обслуживания приполярных областей.

Вблизи полюсов геостационарный КА виден под малым углом места, а у самых полюсов не виден вообще. Ввиду малости угла места происходит затенение спутника местными предметами, увеличение шумовой температуры антенны за счет тепловых шумов Земли, повышение уровня помех от наземных радиотехнических средств. Уже на широте 75° прием затруднителен, а выше 80° — почти невозможен. Однако в широтном поясе от 80° ю.ш. до 80° с.ш. проживает практически все население Земли. Поэтому использование ретранслятора, находящегося на геостационарной орбите, целесообразно, например, для передачи телевизионного изображения.

Рассмотрим упрощенную схему индивидуальной приемной установки (рис.1.6), работающий в диапазоне 11—12 ГГц.



Рисунок 1.6. Упрощенная схема приемной установки спутникового ТВ.

Устройство включает в параболическую приемную антенну диаметром 0,6—2,0 м. Она может устанавливаться на крыше, балконе, крепиться к стене здания. Передаваемый спутником-ретранслятором сигнал принимается антенной и поступает на поляризатор, который обеспечивает выделение сигнала в соответствии с его поляризацией (вертикальной, горизонтальной или круговой). Далее сигнал поступает в конвертор, который обеспечивает усиление и преобразование сигнала в первую промежуточную частоту 0,7—2,15 ГГц. Облучатель, поляризатор и конвертор вместе составляют наружный блок, который называется приемной головкой. Эго устройство монтируется в герметичном корпусе для предотвращения по падания влаги.

После первого преобразования принятый сигнал по кабелю поступает в ресивер (приемник), который, как правило, расположен рядом с телевизором, В нем происходит усиление сигнала, его второе преобразование, выбор нужного канала, демодуляция, разделение видео- и звукового сигналов и перенос их в диапазон частот одного из стандартных телевизионных каналов. Следует отметить, что напряжение питания на приемную головку поступает по ВЧ кабелю с ресивера.

В современных зарубежных спутниковых приемных установках широко используются специальные микросхемы, реализующие функции отдельных узлов ресивера, таких как селектор каналов, синхронный фазовый детектор, канал звука, формирователь радиосигнала. Большое внимание уделяется сервисным функциям: автоматическому выбору нужного канала и поляризации, управлению положением антенны, дистанционному управлению ресивером. Некоторые каналы зарубежных систем носят коммерческий характер и поэтому сигналы в них закодированы. Для их требуется дополнительный дешифратор. К ресиверу подключить несколько таких устройств.

#### Спутниковое телевизионное вещание

Спутниковое телевизионное вещание ЭТО передача через космический спутник-ретранслятор телевизионного изображения и звукового сопровождения от наземных передающих станций к приемным. В сочетании с кабельными сетями спутниковая телевизионная ретрансляция через спутники сегодня является основным средством обеспечения многопрограммного высококачественного телевизионного вещания.

В зависимости от организации спутниковое ТВ вещание может осуществляться двумя службами:

- 1. Фиксированной спутниковой службой (ФСС). В этом случае передаваемые через КА телевизионные сигналы принимаются с высоким качеством наземными станциями, расположенными в зафиксированных заранее пунктах. С этих станций через наземные ретрансляторы телевизионный сигнал доставляется индивидуальным потребителям (рис. 1.7)
- 2. Радиовещательной спутниковой службой (PBCC). В этом случае ретранслируемые КА телевизионные сигналы предназначены для непосредственного приема населением (непосредственным считается как индивидуальный, так и коллективный прием, при котором телезрители принимают программу по кабельной сети) (рис. 1.8)

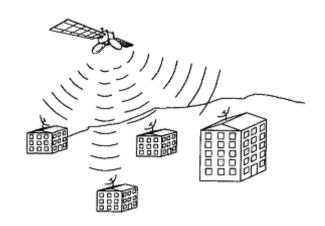


Рисунок 1.7. Ретрансляция спутниковых сигналов наземным телецентром.

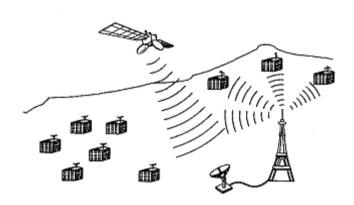


Рисунок 1.8. Непосредственное телевизионное вещание.

Большое распространение в настоящее время получили относительно простые и недорогие установки с антеннами небольших размеров для непосредственного приема телевизионных сигналов со спутников. Система спутникового телевизионного вещания включает в себя следующие подсистемы (рис. 1.9):

- > Передающий телевизионный центр;
- > Активный спутник-ретранслятор;
- > Приемное оборудование.

Современные технические средства позволяют сформировать достаточно узкий пучок волн, чтобы при необходимости сконцентрировать практически всю энергию передатчика КА на ограниченной территории, например, на территории одного государства.

Часть территории, которую необходимо охватить вещанием при заданном уровне сигнала, называют *зоной обслуживания*.

Ее вид и размеры зависят от диаграммы направленности передающей антенны спутника-ретранслятора. Несмотря на то, что антенна всегда направлена в точку прицеливания, за чем следят специальные устройства,

зона обслуживания имеет сложную геометрическую форму, Если диаграммы направленности бортовых антенн КА достаточно широки, чтобы охватить всю видимую с него часть Земли, то зона обслуживания является глобальной.

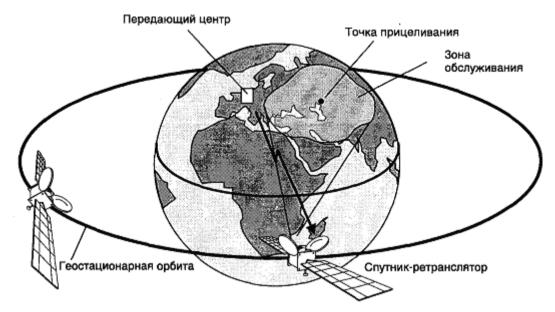


Рисунок 1.9. Применение спутниковой ретрансляции для ТВ вещания.

В спутниковом телевидении уровень излучаемого с космического аппарата сигнала принято характеризовать произведением мощности (в ваттах) подводимого к антенне сигнала на коэффициент ее усиления (в децибелах) относительно изотропного (всенаправленного) излучателя. Эту характеристику называют эквивалентной изотропно-излучаемой мощностью (ЭИИМ) и измеряют в децибелах на ватт. Уровень сигнала в точке приема определяется плотностью потока мощности у поверхности Земли относительно потока мощности 1 Вт, проходящего через 1 м² (дБВт/м²).

В 1977 г. состоялась Всемирная административная радиоконференция по планированию радиовещательной спутниковой службы, на которой был принят ныне действующий Регламент радиосвязи. В соответствии с ним земной шар разделен на три района, у вещания на каждый из которых выделены свои полосы частот. Как видно из рис. 1.10, Россия и страны СНГ входят в Район 1.

В Регламенте указаны полосы частот метрового и дециметрового диапазонов, в которых работают радиопередающие средства телевизионного вещания. В этих полосах частот ряд частотных планов, разработанных на основании защитных отношений и других параметров, рекомендованных МККР (Международным Консультативным Комитетом по Радиосвязи) согласован на международном уровне.

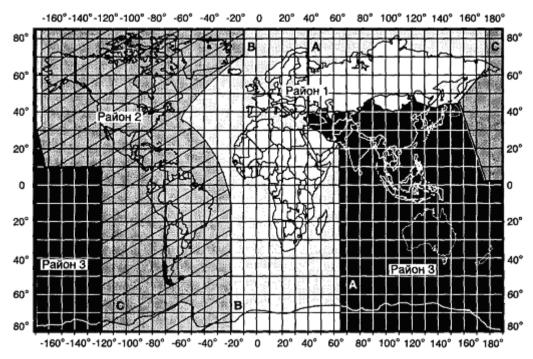


Рисунок 1.10. Районы спутникового вещания.

Для систем спутникового вещания выделены полосы частот, представленные в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Полосы частот систем спутникового вещания.

Наименование диапазона	Полоса частот, ГГц	
L-диапазон	1,452-1,550 и 1,61-1,71	
S-диапазон	1,93-2,70	
С-диапазон	3,40-5,25 и 5,725-7,075	
Х-диапазон	7,25-8,40	
Ки-диапазон	10,70-12,75 и 12,75-14,80	
Ка-диапазон	15,40-26.50 и 27,0-50,20	
К-диапазон	84-86	

Два последних диапазона — Ка и К — почти не используются, и пока считаются экспериментальными. Однако вещание спутниковых телепрограмм в этих диапазонах позволит значительно уменьшить диаметр приемных антенн. На пример, если антенны Ки-диапазона (10,70— 12,75 ГГц) имеют характерные размеры 0,6— 1,5 м, то антенны К-диапазона (84— 86 ГГц) при том же значении коэффициента усиления будут иметь размеры 0,10—0,15 м. Кроме того, информационная емкость этих диапазонов значительно выше. *Информационной емкостью* называется количество

телевизионных каналов, которое можно разместить в данном диапазоне частот.

Основная проблема в освоении этих диапазонов — экономическая, а проблема именно, создания недорогих массовых индивидуальных Сформулированные Регламенте радиосвязи приемников. В основные касающиеся систем непосредственного положения, спутникового телевизионного вещания (СНТВ), сводятся к следующему:

- » в системах СНТВ используются спутники-ретрансляторы, расположенные на геостационарной орбите;
- ▶ для радиолиний Земля Космос и Космос Земля выделены фиксированные полосы частот (табл. 1.2);
- рекомендуется передача частотно-модулированного сигнала с предыскажениями;
- **>** величина отношения сигнал/шум не должна быть меньше 14 дБ;
- ightharpoonup плотность потока мощности в зоне обслуживания не должна превышать —103 дБВт/м<sup>2</sup> для индивидуального приема и —111 дБВт/м<sup>2</sup> для коллективного;
- для увеличения объема передаваемой информации рекомендуется двукратное использование рабочих частот, что возможно благодаря развязке по поляризации;
- приемную установку ТВ необходимо характеризовать коэффициентом добротности, который определяется как отношение коэффициента усиления антенны к суммарной шумовой температуре станции G/T.

1988 г. наша страна присоединилась К «Конвенции ПО распространению не сущих программ сигналов, передаваемых через спутники» (Брюссель, 1974 г.). В связи с этим в нашей стране индивидуальный прием спутниковых телевизионных программ РВСС (радиовещательной спутниковой службой) И ФСС (фиксированной спутниковой службой) может осуществляться без ограничений, если принятые программы не распространяются далее посредством эфира, по кабельной сети или в виде магнитных записей. Коллективный прием сигнала, предполагающий последующее распространение программ, может производиться только по разрешению их создателей.

Таблица 1.2. Полосы частот, ГГц, выделенные спутниковому ТВ вещанию ФСС и РВСС для района 1.

Фиксированная спутниковая служба		Радиовещательная спутниковая служба	
Космос - земля	Земля - космос	Космос - земля	Земля - космос
3,4 - 4,2	5,725 – 7,075	0,62-0,79	10,7 – 11,7
4,5 - 4,8	7,9 – 8,4	2,50 – 2,69	14,0 – 14,8
7,25 - 7,75	12,50 – 13,25	11,7 – 12,5	17,3 – 18,1
10,7 - 11,7	14,0 – 14.8	40,5 – 42,5	47,0 – 49,2
12,50 - 12,75	17,3 – 17,7	84 – 86	_
17,7 - 21,20	27 – 31	_	_
37,5 - 40,50	42,5 – 43,5	_	_
81 - 84	47,2 – 50,2	_	_
102 - 105	50,5 - 51,4	_	_
149 - 164	71,0 – 75,5	_	_
231 -241	92 – 95	_	_
_	202 – 217	_	_
_	265 - 275	_	_

#### Вопросы для самопроверки

- 1. Какими параметрами характеризуется синусоидальная волна?
- 2. По какой формуле определяется мгновенное значение синусоидальной волны в любой точке пикла?
- 3. Чем амплитудная модуляция отличается от частотной?
- 4. Что такое девиация частоты?
- 5. Где возникают шумы Джонсона? По какой формуле они определяются?
- 6. Какие преимущества имеет использование децибелов вместо фактических величин?
- 7. Какие существуют виды орбит спутников?
- 8. Какую высоту имеет геостационарная орбита?
- 9. Какие достоинства и недостатки имеет спутниковая линия связи с ретранслятором?
- 10. Что такое фиксированная спутниковая служба?
- 11. В чем заключается особенность радиовещательной спутниковой службы?
- 12. Какие подсистемы входят в состав системы спутникового телевидения?
- 13. Какие диапазоны используются в спутниковом телевизионном вещании?

## 2.Методы формирования и передачи спутниковых телевизионных сигналов.

#### 2.1.Аналоговый метод

Телевизионный сигнал, форма которого повторяет распределение яркости на пути развертки изображения, называется электрическим аналогом изображения, или *телевизионным аналоговым сигналом*.

Наземное телевизионное вещание осуществляется при помощи амплитудной модуляции (AM) с частичным подавлением одной боковой полосы.

В системах СНТВ для передачи телевизионных сигналов используется частотная модуляция (ЧМ). При использовании ЧМ для передачи ТВ сигналов требуется значительно меньшая мощность бортового передатчика, однако в этом случае приходится занимать большую полосу частот. ЧМ отличается от других помехоустойчивых видов модуляции тем, что при сравнительно простых технических средствах приема реальная помехоустойчивость незначительно отличается OT теоретической. помехоустойчивости Возможность достижения высокой сравнительно простыми техническими средствами стало выигрышным моментом при создании простых и недорогих приемных установок СНТВ.

Телевизионный сигнал характеризует совокупность его параметров: число строк, число кадров, длительность и форма синхронизирующих импульсов, полярность сигнала, разнос между несущими частотами изображения и звукового сопровождения, метод кодирования сигналов цветности совместно с сигналом яркости. Совокупность значений этих параметров составляет стандарт телевизионного сигнала.

наземном телевизионном вещании настоящее время распространены десять видов стандартов передачи телевизионных сигналов, которые по международной индексации принято обозначать латинскими буквами: В; D; G; H; 1; К; К1; L; М; N. Все они имеют следующие одинаковые параметры: число строк в кадре 625; частота кадров — 50 Гц; частота строк 15625 Гц; амплитудная модуляция несущей изображения. При этом В и D — стандарты метрового диапазона волн, G, H и K дециметрового, І, К1, Е, М и N—метрового и дециметрового одновременно. В настоящее время используются три системы цветного телевидения, различающиеся способом кодирования сигналов цветности: SECAM, NTSC и РАL. Различные стандарты в сочетании с этими системами дают несколько вариантов стандартов телевизионного вещания.

В странах, входящих в организацию OIRT (Organization International Radio and Television), действует стандарт SECAM D/K (Россия, страны СНГ, Венгрия, Болгария, Вьетнам, Польша и др.).

В большинстве европейских стран, в государствах Ближнего Востока, объединенных организацией IRCC (International Radio Consultative Commission), используется стандарт PAL B/G (Австрия, Италия, Ирландия, Исландия, Кипр, Норвегия, Арабские Эмираты, Оман, Кувейт и др.). В США, на Филиппинах, в Канаде, Чили, Боливии, Мексике, Японии и др. телевизионное вещание регламентируется комиссией по связи FCC (Federal Communications Commission)? использующей стандарт NTSC M.

Система SECAM (последовательная цветная с памятью) — последовательная, совместима с черно-белой системой. Ее отличительным признаком является поочередная передача через строку двух цветоразностных сигналов на ЧМ-поднесущей при непрерывной передаче сигнала яркости.

Существует два вида предыскажений: низкочастотные И высокочастотные. Благодаря низкочастотным предыскажениям сигнала достигается повышение отношения сигнал/помеха за счет **у**величения верхних глубины частотах. Благодаря модуляции на высокочастотных предыскажений, во-первых, на черно-белом изображении менее заметна поднесущая и, во-вторых, повышается помехоустойчивость сигнала цветности.

К недостаткам системы SECAM следует отнести то, что четкость цветов снижена вдвое, так как сигналы цветности передаются через строку, поэтому в телевизионном приемнике недостающий сигнал берется из предыдущей строки.

Система NTSC (национальный комитет телевизионных систем) — одновременная, с квадратной модуляцией цветовой поднесущей, совместимая с черно-белой системой. Особенностью системы NTSC является то что оба цветоразностных сигнала передаются одновременно в каждой строке развертки, причем без расширения полосы частот, занимаемой сигналом цветности в спектре ТВ сигнала. Это достигается применением квадратурной модуляции, при которой результирующий цветовой сигнал модулируется по амплитуде и манипулируется по фазе. Амплитуда сигнала характеризует насыщенность цвета, а фаза — цветовой тон.

Система обеспечивает высокую четкость цветного изображения, осуществляет разделение цветоразностных сигналов без применения линии задержки, но обладает большой чувствительностью к фазовым искажениям, что приводит к зависимости цветового тона от амплитуды сигнала яркости. Кроме фазовых система подвержена амплитудно-частотным искажениям, вызывающим различия в насыщенности цветов темных и светлых участков изображения. Система обеспечивает самое высокое, по сравнению с другими

системами качество цветного изображения, но требует высокого технического совершенства приемопередающей аппаратуры.

Система PAL (система с построчным изменением фазы) - одновременная, с квадратурной модуляцией цветовой поднесущей. Ее основное отличие от системы NTSC — изменение от строки к строке на 180° фазы цветоразностных сигналов. Система PAL обладает следующими достоинствами:

- Отсутствует помеха от поднесущей на черно-белых участках изображения
- Фазовые искажения отсутствуют, поэтому не нарушается цветовой тон
- Вследствие разделения сигналов цветности достигается удвоение амплитуды, что повышает отношение сигнал/шум
- Уменьшаются перекрестные искажения между сигналами яркости и цветности

Недостатком системы PAL является снижение четкости изображения из-за усреднения сигнала цветности в двух соседних строках.

Для того чтобы осуществить спутниковую трансляцию аналоговых сигналов, были созданы разнообразные методы повышения качества изображения.

Для уменьшения перекрестных искажений и обеспечения одинаковой помехоустойчивости ТВ сигнала на всех частотах его спектра в передающей системе вводятся *линейные предыскажения*, увеличивающие амплитуду высокочастотных составляющих спектра (рис. 2.1, а) а в приемном устройстве производится восстановление спектра сигнала с помощью фильтра, имеющего обратную амплитудно-частотную характеристику (рис. 2.1, б). В результате обеспечиваются безыскаженная передача и одинаковое отношение сигнал/помеха для всех спектральных составляющих.



Рисунок 2.1. линейные предискажения видеосигнала.

Одновременно с линейными предыскажениями сигнала изображения в спутниковых каналах применяют *нелинейную обработку*, которая заключается в ограничении размаха предыскаженного сигнала за счет отсечения узких выбросов, соответствующих крутым фронтам исходного сигнала.

Ограничению подвергаются только наиболее значительные выбросы. В результате средний уровень сигнала и, соответственно, эффективная девиация частоты возрастают, что вызывает увеличение мощности полезного сигнала на выходе частотного демодулятора и возрастание помехоустойчивости. При ограничении незначительных выбросов возможен удовлетворительный прием сигналов даже без нелинейного восстановления. Это связано с тем, что ограничению подвергаются только очень большие выбросы, соответствующие фронтам ТВ сигналов. При восстановлении таких сигналов линейными цепями будут искажены лишь верхние части фронтов импульсов, что почти не сказывается на качестве изображения.

Выигрыш от применения нелинейной обработки пропорционален степени ограничения. Практически без искажения сигналов цветности выигрыш в помехоустойчивости может составлять до 2—3 дБ.

Существует еще один метод повышения качества изображения, который применяется только в спутниковых телевизионных системах. При работе систем СНТВ необходимо обеспечить ИХ электромагнитную совместимость как друг с другом, так и с наземными службами радиосвязи, причем уровень помех, создаваемых системами СНТВ, не должен превышать установленных МККР норм. Наиболее сильные помехи системы СНТВ вызывают в радиорелейных линиях (РРЛ). Поэтому величина плотности мощности сигналов системы СНТВ у поверхности ограничивается, исходя из допустимой мощности помехи, попадающей в полосу одного телефонного канала РРЛ, ширина которой составляет 4 кГц. Наиболее мешающее воздействие оказывают сильное дискретные компоненты спектра ЧМ-сигнала.

С целью уменьшения помех систем СНТВ другим системам к полезному ТВ сигналу добавляют специальный *сигнал дисперсии*, обеспечивающий рассеяние энергии ЧМ-сигнала по его спектру и имеющий треугольную или пилообразную форму. В отсутствие сигнала изображения промодулированный сигналом дисперсии ЧМ-сигнал имеет равномерный энергетический спектр.

Чтобы сигнал дисперсии был меньше заметен на экране телевизора, частота его выбирается равной четверти или половине частоты кадровой развертки. В этом случае сигнал дисперсии проявляется как незначительное изменение яркости от одного края экрана телевизора к другому. Кроме того, он подавляется с по мощью схем фиксации уровня, осуществляющих привязку уровня «черного».

Передача сигналов **ЗВУКОВОГО** сопровождения В спутниковых телевизионных каналах осуществляется на поднесущей частоте, более высокой, чем несущая частота сигнала изображения (рис. 2.2), и только с использованием частотной модуляции, причем девиация частоты может 300кГп Этим составлять более достигается повышенная помехозащищенность передачи.

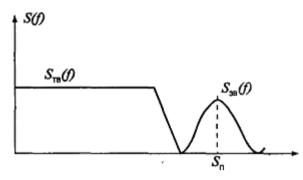


Рисунок 2.2. Спектр аналогового спутникового телевизионного сигнала.

При передаче сигналов звукового сопровождения для повышения качества вещания в системах СНТВ, как и в наземном радиовещании, в диапазоне ультракоротких волн (УКВ) используются линейные предыскажения. Вид амплитудно-частотных характеристик (AYX)предыскажающих и восстанавливающих контуров аналогичен АЧХ контуров предыскажений видеосигнала. введения Предыскажение и восстановление сигналов также производятся с помощью простых RC-цепей. 2.1, характеристика предыскажений такова, Как видно из рис. происходит увеличение амплитуды высокочастотных составляющих сообщения. Такая зависимость приводит к незначительному увеличению эффективной ЧМ-поднесущей, девиации частоты которая частично уменьшения с ростом частоты компенсируется за счет спектральной Применение плотности мощности излучения. приемнике восстанавливающего контура позволяет существенно уменьшить интенсивность высокочастотных Выигрыш ШУМОВЫХ компонентов. помехоустойчивости за счет введения линейных предыскажений может составлять до 10 дБ.

В каналах звукового сопровождения широко используется и нелинейная обработка звуковых сигналов. Наиболее распространенными устройствами ее проведения являются компандерные системы, повышающие помехоустойчивость слабых сигналов. Для этого в передающую систему включаются компрессоры, которые сжимают динамический диапазон передаваемых сигналов за счет нелинейности своей АЧХ. При этом слабые сигналы усиливаются больше. В приемнике восстановление сообщения производится экспандером, осуществляющим расширение динамического

диапазона за счет снижения уровня слабых сигналов. При этом, одновременно с восстановлением сигнала, уменьшаются уровни шумов слабых сигналов и соответственно повышается отношение сигнал/помеха. Повышение помехоустойчивости составляет около 12 дБ при наличии сигнала и до 20 дБ — в паузах.

Компандер имеет установившийся и переходный режимы работы. В переходном режиме (при скачкообразном изменении уровней звуковых сигналов) из-за отличия характеристик компрессора и экспандера от идеальных возникают нелинейные искажения. Кроме того, на выходе компандера уровень шума зависит от уровня сигнала, т. е. имеет место так называемый эффект программно-модулированного шума.

Последнее связано с изменением отношения сигнал/помеха в зависимости от уровня сигнала, причем при возрастании уровня отношение сигнал/помеха уменьшается. Если спектры сигнала и шума совпадают, то такое ухудшение незаметно. При несовпадении спектров, имеющем место при передаче низкочастотных (басовых) фрагментов, шумы начинают прослушиваться. Для устранения этого недостатка применяются схемы спектрального компандирования.

В спектральных компандерах используются разделение спектра сигнала на частотные полосы и независимое компандирование в пределах каждой спектральной полосы. Если энергия сигнала сосредоточена в одной частотной полосе, в других производится подавление шума за счет сжатия динамического диапазона. В компандерах такого типа исключается программно модулированный шум.

Как уже отмечалось, возможна организация стереофонического радиовещания. На практике используются четыре системы стереовещания: уплотненная, дискретная, дискретная кодированная, узкополосная дискретная с малой девиацией частоты.

В уплотненной системе стереовещания передача сигналов левого ( $\Pi$ ) и правого ( $\Pi$ ) каналов производится путем формирования комплексного стерео сигнала, как и в системах наземного радиовещания.

В *дискретной системе* каждый из каналов —  $\Pi$  и  $\Pi$  — передается отдельно на своей поднесущей (обычно на частотах 7,02 и 7,20 М $\Gamma$ ц).

В отличие от дискретной, в *кодированной системе* на отдельных поднесущих передаются суммарный ( $\Pi + \Pi$ ) и разностный ( $\Pi - \Pi$ ) сигналы стереопары.

По сравнению с остальными узкополосные дискретные системы позволяют более экономно использовать полосу частот спутникового канала. В таких системах сокращение ширины полосы достигается за счет уменьшения девиации частоты, а связанное с этим ухудшение помехоустойчивости компенсируется путем спектрального компандирования сигнала.

На протяжении нескольких десятилетий телевидение было аналоговым, и в процессе развития телевизионных систем пришлось столкнуться с ограничениями аналоговых методов, серьезно сужающих возможности совершенствования телевизионного вещания.

Одной из главных причин существования этих ограничений является низкая помехозащищенность аналогового сигнала, так как он подвергается воздействию шумов и других помех при прохождении всего телевизионного тракта. Необходимо отметить, что вещательная телевизионная сеть, особенно спутниковая, представляет собой очень длинную цепь устройств для преобразования и передачи сигналов. В каждом устройстве происходит неизбежная потеря качества изображения. Связано это с тем, что при любом преобразовании сигнал подвергается воздействию помех. При аналоговых методах преобразования эти помехи накапливаются и, естественно, тем сильнее, чем больше в тракте процессов обработки и переприема.

Аналоговый способ передачи телевизионного сигнала по спутниковым каналам является хотя и устаревшим, но все еще наиболее распространенным, В настоящее время происходит переход от аналогового вещания к цифровому. Промежуточным звеном является система уплотнения аналоговых компонент, называемая MAC (Multiplexed Analogue Components).

## 2.2. Цифро-аналоговый метод

В качестве компромисса между аналоговым и цифровым методом передачи телевизионного сигнала но спутниковым каналам стал цифроаналоговый стандарт МАС. Данная система позволяет получить улучшенное изображение на экране телевизора, но сравнению с системами РАL, SECAM, NTSC, но требует несколько большей волосы частот. В зависимости от выбранного способа передачи звука и данных различают стандарты В-МАС, С-МАС, D-МАС, D2-МАС, Е-МАК для телевидения повышенного качества (ТПК) и HD-МАС и HDB-МАС для телевидения высокой четкости (ТВЧ). Стандарт D2-МАС в настоящее время получил широкое распространение.

Этот стандарт обладает следующими улучшенными характеристиками, по сравнению с традиционными аналоговыми системами:

- отсутствие перекрестных искажений сигналов яркости и цветности;
- значительно снижены шумы, в канале цветности, за счет перевода его в область низших частот;
- сигналы звукового сопровождения, синхронизации, телетекста и другой служебной и дополнительной информации передаются в цифровой форме;

• удалось повысить разрешающую способность изображения за счет более широкой полосы частот сигналов яркости и цветности.

D2-MAC можно разделить на две части: аналоговую и цифровую.

Аналоговые сигналы яркости и цветности передаются в течении активной части строки в сжатом во времени виде, а цифровая часть сигнала, соответствующая звуку, сигналам синхронизации, телетексту и другим данным, объединена в пакеты, передаваемые в течение обратного хода но строке и кадру. Рассмотрим структуру строки телевизионного сигнала, закодированного по системе 2-МАС (рис. 2.3).

Начальную часть строки, составляющую около 17,2 мкс, занимает один из цветоразностных сигналов  $E_{R-Y}$  или  $E_{B-Y}$ , которые передаются поочередно через строку. Далее следует яркостная составляющая видеосигнала, которая занимает около 34,4 мкс. Эти аналоговые сигналы имеют одну отличительную особенность, но сравнению с обычными, они передаются в сжатом виде: цветоразностные сигналы сжимаются в 3 раза по времени, а яркостный сигнал в 1,5 раза.

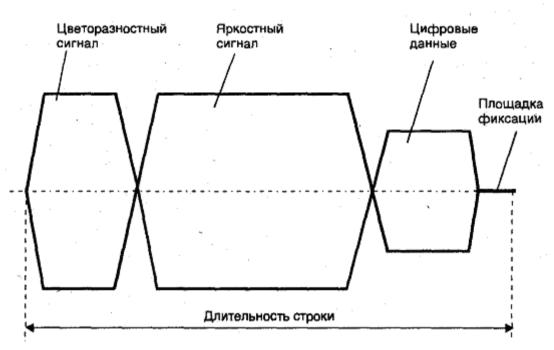


Рисунок 2.3. Структура строки сигнала системы D2-MAC.

Сжатие аналогового сигнала осуществляется путем стробирования с некоторой тактовой частотой (6,75 МГц для цветоразностных компонент и 13,5 МГц для яркостной составляющей). Полученные сигналы накапливаются в запоминающем устройстве, после чего происходит их ускоренное считывание с более высокой тактовой частотой (20,25 МГц).

Применение такого способа кодирования позволяет сжать в два раза требуемую ширину полосы пропускания для данной скорости передачи

данных, которая составляет 10,125 Мбит/с. Длительность обратного хода, в течении которого передаются цифровые данные, составляет порядка 10 мкс. Тактовая частота также составляет 20,25 МГц. Между цифровыми данными и цветоразностным сигналом передается аналоговая площадка фиксации длительность около 0,7 мкс с уровнем 0,5 размаха яркостного и цветоразностного сигналов.

Структура полного телевизионного сигнала D2-MAC / Packet задана Европейским Радиовещательным Союзом (EBU). Этой же организацией определяется и структура декодера сигнала (рис. 2.4).

Рассматривая эту схему, будем считать, что с помощью принятого сигнала восстановлена тактовая частота 20,25 МГц, синфазные тактовые сигналы 6,75 и 13,5 МГц, выделены синхроимпульсы. На вход схемы фиксации поступает аналоговый сигнал яркости и цветности, где производится привязка уровня фиксации к величине, обеспечивающей требуемый уровень видеосигнала. Для повышения отношения сигнал/шум, на передающей стороне вносятся высокочастотные предыскажения, которые устраняются в корректоре.

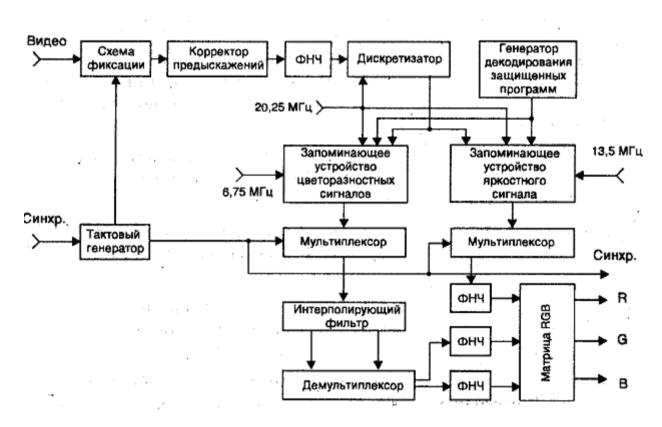


Рисунок 2.4. Структурная схема декодера сигналов D2-MAC.

Далее этот сигнал поступает на фильтр нижних частот (ФНЧ), который ограничивает полосу сигнала для устранения помех дискретизации. Дискретизатор производит выборку отсчетов видеосигнала с частотой 20,25 МГц и направляет яркостные и цветоразностные отсчеты в соответствующие

запоминающие устройства ЗУ с исходной частотой дискретизации 20,25 МГц. Считывание же производится с частотой, в три раза меньшей для цветоразностных компонент (6,75 МГц) и в 1,5 раза ниже для яркостных составляющих (13,5 МГц). Таким образом происходит основной процесс по восстановлению видеосигнала (декомпрессия) на всю активную часть строки. Одновременно здесь может также осуществляться декодирование сигнала для систем платного телевидения.

Считанные из ЗУ отсчеты яркостного сигнала Y через мультиплексор поступают в ФНЧ, который осуществляет постфильтрацию сигнала и восстанавливает непрерывную аналоговую форму сигнала Y. Частота среза фильтра составляет около 6 МГц.

Считанные из ЗУ отсчеты цветоразностных сигналов подвергаются дополнительной обработке с помощью интерполирующего фильтра, поскольку в каждой строке должны быть обе цветоразностные компоненты вместе. Недостающая информация восстанавливается как среднее значение соответствующих отсчетов предыдущей и последующих строк. Далее цветоразностные компоненты через демультиплексор также поступают на фильтры нижних частот с частотой среза около З МГц. Матрица (16) осуществляет дематрицирование видеосигналов в форму R, G, B.

В стандарте D2-MAC значительно легче осуществляется кодирование и декодирование, программ, и поддерживается два формата экрана: 4:3 и 16:9. Также предусмотрено три различных вида звукового сопровождения:

- Высококачественный стереофонический звук с диапазоном воспроизводимых частот, 40— 15000 Гц. (2 канала, частота дискретизации 32 кГц).
- Высококачественный монофонический звук с диапазоном воспроизводимых частот 40—15000 Гц (4 канала, частота дискретизации 32кГц).
- Монофонический звук среднего качества с диапазоном воспроизводимых частот 40— 7000 Гц (8 каналов, частота дискретизации 16 кГц).

Поэтому телезритель при приеме D2-MAC может выбрать один из нескольких вариантов звукового сопровождения: стерео или моно на том или ином языке.

Для просмотра платных программ потребителю необходимо иметь специальный декодер — так называемый дескремблер, который восстанавливает сознательно разрушенное изображение. Наибольшее распространение при кодировании сигнала в стандарте D2-MAC получила система EuroCrypt.

## 2.3. Цифровой метод

*Цифровое телевидение* — область телевизионной техники, в которой операции обработки, консервации и передачи телевизионного сигнала связаны с его преобразованием в цифровую форму.

Преимущества, появляющиеся при переходе к цифровой форме представления и передачи телевизионных сигналов:

- 1. Появляется возможность создания унифицированного видеооборудования, которое использует стандарт цифрового кодирования.
- 2. Все цифровые сигналы обрабатываются по единой технологии.
- 3. Повышается стабильность параметров оборудования, которое работает в бесподстроечном режиме. Тем самым происходит значительное повышение качества телевизионного изображения, особенно при цифровой видеозаписи с применением электронного монтажа. Это качество цифровой видеозаписи особенно важно для создания фондовых и архивных материалов, а также при длительном их хранении.
- 4. Внедрение единого стандарта цифровой видеозаписи значительно облегчает международный обмен телевизионными программами.
- 5. Применение цифровых сигналов значительно расширяет номенклатуру спецэффектов. Это и селективная обработка кадра, и электронный монтаж фрагментов ИЗ нескольких кадров, замена объектов в кадре, геометрические преобразования изображений и т. п. Наглядным примером такого преимущества могут служить фильмы "Терминатор-2", "Маска" и т.д.

Цифровая техника открывает совершенно новые возможности в художественном оформлении телевизионных программ. Таким образом, технологию цифровых методов существенно обогащает внедрение вещания, телевизионного ee гибкой делает исключительно Повышается высокопроизводительной. качество передачи сигналов телевизионных цифровым программ ПО линиям связи благодаря значительному уменьшению накопления искажений, по сравнению с аналоговыми, и применению кодов, обнаруживающих и исправляющих ошибки передачи.

Системы цифрового телевидения в основном могут быть двух типов:

 Аналоговый телевизионный сигнал преобразуется в цифровую форму только для цифровой обработки сигнала (например, в преобразователе телевизионных стандартов, корректоре искажений и др.), для консервации сигналов телевизионной программы или передачи их по каналам связи, а затем снова приобретает аналоговую форму. При этом используются существующие телевизионные радиостанции и парк телевизионных приемников.

Преобразование передаваемого изображения в цифровой сигнал и цифрового сигнала в изображение на приемной стороне (обратное преобразование) производится непосредственно в преобразователях свет-сигнал и сигнал-свет. Во всех звеньях линии связи телевизионная информация передается в цифровой форме.

Обобщенная структурная схема цифрового телевидения, приведена на рис. 2.5.

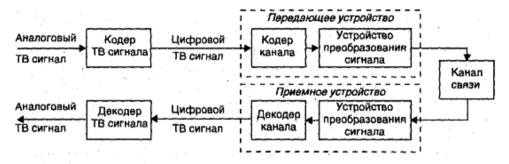


Рисунок 2.5. Обобщенная структурная схема цифрового тракта преобразования ТВ сигнала.

На вход тракта цифрового телевидения поступает аналоговый телевизионный сигнал (см. рис.2.5). В кодирующем устройстве (кодере) телевизионный сигнал преобразуется в цифровую форму и поступает на передающее устройство, которое состоит в общем случае из кодера канала и устройства преобразования сигнала. Пройдя через канал связи, цифровой сигнал поступает в приемник, состоящий из устройства обратного преобразования сигнала и декодирующего устройства (декодера) канала, осуществляющего преобразование цифрового телевизионного сигнала в аналоговый. Кодер и декодер канала обеспечивают защиту от ошибок в канале связи. В устройствах преобразования характеристики цифрового сигнала согласуются с характеристиками канала связи.

Если полный цветовой телевизионный сигнал перед преобразованием в цифровую форму разделяется на сигнал яркости и цветоразностные сигналы, такое кодирование телевизионного сигнала называется *раздельным*. При этом разделенные сигналы (или сигналы R, G, B, от источника) кодируются отдельно и затем объединяются в общий цифровой сигнал. Если указанное разделение не производится, т.е. кодируются полный цветовой

телевизионный сигнал, используется термин непосредственное или совместное кодирование.

Кодирующее устройство преобразует аналоговый телевизионный сигнал в цифровой. При переходе от аналоговой формы представления сигнала к цифровой можно выделить три наиболее существенных преобразования:

- дискретизацию (по времени) формирование из аналогового телевизионного сигнала импульсного сигнала;
- **к**вантование (по уровню);
- жодирование (цифровое представление дискретных уровней) это комплекс операций, связанных с преобразованием аналогового телевизионного сигнала в цифровой (дискретизация, квантование, кодирование).

Однако главным недостатком цифрового телевидения является необходимость значительно более широкой полосы пропускания канала связи, по сравнению с аналоговым. Это объясняется тем, что скорость передачи цифрового сигнала, измеряемая числом двоичных символов в секунду (бит/с), довольно велика.

Первым шагом па пути унификации и стандартизации параметров вещательных систем цифрового телевидения можно считать разработку в МККР Рекомендации 601, в которой приводятся значения основных параметров цифрового кодирования телевизионного сигнала для аппаратностудийных комплексов (АСК) телецентров, работающих со стандартом разложения как 625, так и 525 строк.

В АСК предусматривается раздельное кодирование.

Создается иерархия (семейство) совместимых стандартов цифрового кодирования, обеспечивающих различное качество результирующих телевизионных изображений, подобно тому, как это имеет место в современных телецентрах, где есть три основных критерия качества:

- высшее на выходе студийных камер до кодирующего устройства;
- промежуточное после кодирующего устройства;
- низшее, в настоящее время соответствующее изображениям на выходе видеомагнитофонов.

Примерно такие же градации в цифровом телевидении получаются при соотношении частот дискретизации сигналов яркости и цветности, например 4:4:4, 4:2:2, 4:1:1 или 2:1:1 (для видеожурналистики).

Как при непосредственном, так и при раздельном кодировании полного цветового телевизионного сигнала, цифровые телевизионные сигналы

получаются чрезвычайно широкополосными и передавать их по существующим линиям связи практически невозможно.

Поэтому центральной проблемой в цифровом телевидении является уменьшение в несколько раз скорости передачи символов цифрового сигнала. Она решается путем устранения избыточности имеющейся в телевизионном сигнале, и использованием эффективных методов модуляции. Различают структурную, статистическую и физиологическую избыточность телевизионного сигнала.

Структурная избыточность определяется законом разложения телевизионного изображения и создается в основном гасящими интервалами. Статистическая избыточность вызвана корреляционными связями между элементами сигнала в одной строке, в смежных строках и соседних кадрах. Физиологическая избыточность заключается в той части информации, которая не воспринимается глазом человека.

Для борьбы с помехами, приводящими к неверному распознанию символов цифрового сигнала (к ошибкам передачи) в состав тракта цифрового телевидения в общем случае включается кодек канала — устройство защиты от ошибок.

Помехоустойчивость передачи цифрового телевизионного сигнала зависят от вида модуляции и кода, примененных для передачи цифровой информации по каналу, алгоритма декодирования сигнала в декодере и ряда других факторов.

Коды; используемые в тракте цифрового телевидения, можно условно разделить на коды:

- коды для кодирования телевизионного сигнала;
- коды для эффективной передачи по каналу;
- коды, обеспечивающие удобство декодирования и синхронизации на приеме;
- коды для цифровой обработки сигнала в различных звеньях тракта цифрового телевидения.

Подводя итог всему сказанному выше, отметим преимущества, которые обеспечиваются при переходе к цифровой форме представлений и передачи телевизионных сигналов.

- возможность большого числа обработок цифрового сигнал с сохранением высокого качества выходного аналогового сигнал при формировании телевизионного изображения;
- повышение качества передачи телевизионных сигналов по цифровым линиям связи большой протяженности, благодаря значительному уменьшению накопления

искажений, по сравнению с аналоговыми, и применению кодов, обнаруживающих и исправляющих ошибки передачи;

- упрощение обмена телевизионными программами при разных стандартах телевидения;
- высокие качественные показатели систем записи и воспроизведения изображения за счет значительного снижения уровня нелинейных искажений;
- высокая стабильность тракта, возможность длительного бесподстроечного режима работы оборудования за счет широкого использования методов и технических средств цифровой техники.

В настоящее время цифровой стандарт MPEG является наиболее перспективным и реализованным на практике.

А теперь рассмотрим алгоритм сжатия стандарта MPEG.

Для уменьшения объема информации применяется межкадровое и внутрикадровое кодирование.

При межкадровом кодировании через каждые 10—15 кадров видео изображения выбираются опорные кадры. Это так называемые І-кадры, которые являются основными и кодируются без обращения к другим кадрам. Все остальные кадры анализируются процессором, который сравнивает их с опорными, а также между собой. Далее вырабатывается сигнал различия па основе алгоритма предсказания с компенсацией движения. Эти оставшиеся кадры можно условно разделить на 2 группы:

- Р-кадры— закодированные относительно предыдущих кадров;
- В-кадры закодированные как относительно предыдущих, так и последующих кадров.

Избыточность информации, которая все же сохраняется после такой переработки сигнала, устраняется при помощи дискретно-косинусного преобразования.

При внутрикадровом кодировании устранение пространственной избыточности также проводится посредством дискретно-косинусного преобразования.

Таким образом, можно сделать вывод об основных принципах построения стандарта MPEG-2:

- использованы сложные алгоритмы предсказания;
- **р** для устранения избыточности применяется дискретнокосинусное преобразование.

необходимы большие объемы памяти, позволяющие обрабатывать и хранить одновременно до 100 кадров.

В звуковом канале MPEG-2 кодирование и сжатие данных также про изводится по специально разработанным алгоритмам. Качество звука после декодирования в приемнике соответствует качеству компакт-дисков.

Кодер MPEG-2 может также обрабатывать цифровые данные различной структуры, например поддерживать телетекст всех стандартов.

После того, как кодирование информации произведено, все типы данных соединяются в единый поток. Затем производится защита от ошибок с помощью скремблирования и кода Рида-Соломона. Полученный таким образом сложнейший сигнал модулируется и поступает на передатчик.

Рассмотрим теперь схему построения декодирующего устройства, представленную на рис. 2.6.

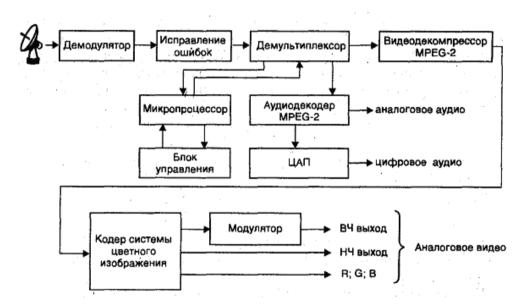


Рисунок 2.6. Структурная схема декодирующего устройства MPEG-2.

После того как выделенный сигнал проходит цепи демодуляции и исправления ошибок, он поступает на демультиплексор. Здесь производится разделение информационного потока на два канала: аудио и видео. Декодер поддерживает самые различные форматы и имеет большое количество выходов: цифровое видео, аналоговое видео, цифровое аудио, аналоговое аудио, КОВ — выход и др.

Управление работой демультиплексора осуществляет микропроцессор, обрабатывая команды пользователя, переданные через блок управления.

В цифровых системах нет понятия "плохое качество изображения", качество картинки на экране телевизора при использовании профессиональной и бытовой аппаратуры одинаково высокое. Просто в том случае, если уровень ошибок превышает предельно допустимый,

изображения на экране телевизора просто не будет, т.к. не смогут работать алгоритмы восстановления.

В связи с большой сложностью построения стандарта MPEG стоимость приемного оборудования значительно выше аналогового. Бытовой цифровой ресивер без особых "наворотов" стоит около 1000 долл.! Именно по этой причине аналоговое вещание еще долго будет существовать наряду с цифровым. Особенно это касается стран с низким уровнем дохода населения. В дальнейшем, по мере развития техники, технологичности изготовления оборудования, очевидно следует ожидать снижения цен на цифровое видео.

В системах аналогового спутникового телевидения один телевизионный канал целиком занимает транспордере с полосой 27 —36 МГц. Стандарт MPEG-2 позволяет разместить в таком травспордере до 4 каналов студийного качества либо до 6-8 каналов качества S-VHS. Как видно, увеличение пропускной способности существенно. Кроме того, в спутниковом вещании стоимость аренды ствола — одна из самых значительных статей затрат. При использовании цифровых методов передачи, можно уменьшить стоимость аренды как минимум в 4 раза.

### Вопросы для самопроверки

- 1. Какой телевизионный сигнал называется аналоговым?
- 2. Какие системы цветного телевидения используются в настоящее время? Чем они различаются?
- 3. Для чего вводятся линейные предыскажения? На что они влияют?
- 4. Что такое сигнал дисперсии?
- 5. Какие системы стереовещания используются в аналоговом методе формирования сигнала?
- 6. Какие преимущества имеет система МАС?
- 7. Почему системы D-MAC и D2-MAC получили наибольшее распространение?
- 8. Как выглядит структура строки сигнала закодированного по системе D2-MAC?
- 9. Что такое интерполирующий фильтр? Где он применяется?
- 10. Из каких блоков состоит структурная схема видеодекодера сигналов D2-MAC?
- 11. Что такое цифровое телевидение?
- 12. Из каких блоков состоит цифровой тракт преобразования ТВ сигнала?

- 13. Какие способы преобразования используются при переходе от аналоговой формы к цифровой?
- 14. Какие виды избыточности существуют?
- 15. Какие коды используются в цифровом телевидении?
- 16. В чем заключается особенность стандарта MPEG? Какие он имеет достоинства и недостатки?

#### 3. Антенны

# 3.1. Основные электрические характеристики приемных антенн

При рассмотрении общих электрических параметров, характеризующих качество антенны, необходимо отметить, что, как следует из теории антенных устройств, приемные и передающие антенны имеют одни и те же электрические характеристики.

Рабочий диапазон волн — это тот диапазон, в пределах которого антенна сохраняет с заданной точностью свои основные параметры (направленное действие, поляризационную характеристику, согласование). Требования к постоянству параметров в пределах рабочего диапазона могут быть различными в зависимости от условий использования антенны. Если ширина рабочего диапазона не превосходит нескольких процентов от длины средней волны диапазона, то антенна называется узкодиапазонной; а если составляет несколько десятков процентов и больше — широкодиапазонными.

Существенное значение имеют характеристики направленности. Именно благодаря высокой возможности создания антенн c пространственной избирательностью осуществляется прием программ спутникового ТВ вещания.

Наглядное представление 0 распределении энергии волн дает амплитудная характеристика направленности. Характеристика направленности приемной антенны определяется величиной наводимой в ней электродвижущей силы (ЭДС) в зависимости от направления в пространстве (или от угла падения приходящей волны). Направление определяется азимутальным ф и меридиональным ө углами сферической системы координат (рис. 3.1). При этом поле измеряется на одном и том же (достаточно большом) расстоянии r от антенны и предполагается, что потери в среде отсутствуют.

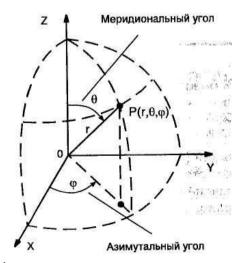


Рисунок 3.1. Сферические координаты точки наблюдения.

Графическое изображение характеристики направленности называют диаграммой направленности. Пространственная диаграмма направленности изображается в виде поверхности. Пользоваться такой диаграммой неудобно. Поэтому на практике обычно строят диаграммы направленности в какойнибудь одной плоскости, в которой она изображается плоской кривой  $f(\phi)$  или  $f(\theta)$  в полярной или декартовой системе координат.

Данное определение относится к диаграмме направленности по полю. В не которых случаях используется понятие характеристики (диаграммы) направленности по мощности, которая определяется зависимостью плотности по тока мощности от направления в пространстве.

Плотность потока мощности представляет собой мощность излучения, про ходящего через единичную площадку, расположенную перпендикулярно на правлению распространения волны. Поэтому диаграмма направленности по мощности пропорциональна.

Характеристика направленности, максимальное значение которой равняется единице, называется нормированной диаграммой. Она получается из ненормированной характеристики путем деления всех ее значений на максимальное.

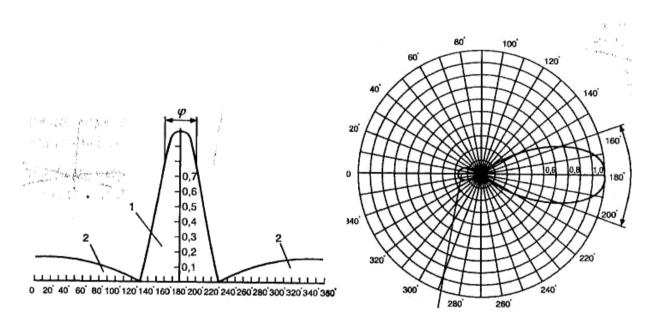


Рисунок 3. 2. Диаграммы направленности

На рис. 3.2 представлены нормированные диаграммы направленности в полярной и декартовой системах координат. Область 1 называют основным (главным) лепестком, области 2 — заднего и боковыми лепестками. Чем меньше угол раствора главного лепестка и уровень заднего и боковых лепестков, тем больше уровень сигнала на выходе антенны и выше помехозащищенность.

Направленное действие антенны часто оценивают по углу раствора диаграммы направленности, который также называют шириной диаграммы. Под шириной  $2\theta_{0,5}$  диаграммы (главного лепестка) подразумевают угол между направлениями, вдоль которых напряженность поля уменьшается в  $\sqrt{2}$ 

раз по сравнению с напряженностью поля в направлении максимума излучения (рис. 3.3), а поток мощности соответственно уменьшается вдвое. В некоторых случаях под шириной  $2\theta_0$  подразумевают угол между направлениями (ближайшими к направлению максимума), вдоль которых напряженность поля равна нулю.

Для сравнения направленных антенн вводят параметр, называемый коэффициентом направленного действия (КНД). Коэффициент направленного действия D — это число, показывающее, во сколько раз пришлось бы увеличить мощность излучения антенны при переходе от направленной антенны К ненаправленной при условии сохранения одинаковой напряженности поля в месте приема (при прочих равных условиях):

$$D=P_{\Sigma 0}/P_{\Sigma}$$

где  $P_{\Sigma 0}$  – мощность излучения не направленной антенны;  $P_{\Sigma}$  - мощность излучения направленной антенны.

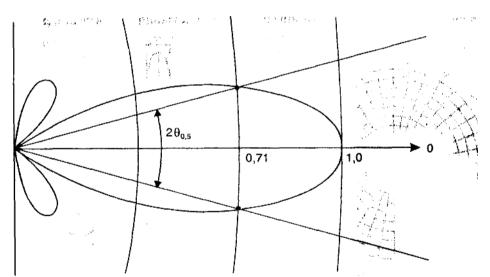


Рисунок 3.3. Диаграмма направленности приемной антенны.

Коэффициент направленного действия приемной антенны показывает, какому увеличению мощности передатчика эквивалентно даваемое направленной антенной превышение сигнала над уровнем помех (по сравнению с приемом на ненаправленную антенну) при условии равномерного распределения помех во всех направлениях.

Эффективная площадь антенны А характеризует площадь поверхности, через которую приемная антенна собирает энергию, и определяется как отношение максимальной мощности, которая может быть отдана прием ной антенной (без потерь) в согласованную нагрузку, к мощности П,

приходящейся на единицу площади в падающей (неискаженной антенной) плоской волне:

$$A=P_{\Pi D}/\Pi$$
,

где П численно равно модулю вектора Пойтинга.

Между эффективной площадью антенны и коэффициентом направленного действия существует следующая связь:

$$D=4\pi A/\lambda^2$$
,

где  $\lambda$  — длина волны.

Для суждения о выигрыше, даваемом антенной, при учете как ее направленного действия, так и потерь в ней служит параметр, называемый коэффициентом усиления антенны.

Коэффициент усиления антенны равен произведению КНД на ее КПД:  $G=D*\eta$ .

Коэффициент усиления показывает, во сколько раз нужно уменьшить (или увеличить) мощность, подводимую к направленной антенне, по сравнению с мощностью, подводимой к идеальной ненаправленной антенне без потерь, для того чтобы получить одинаковую напряженность поля в данном направлении. Если специальных оговорок не делается, то под коэффициентом усиления (так же, как и под коэффициентом направленного действия) подразумевается его максимальное значение, соответствующее направлению максимума диаграммы направленности.

Антенна должна иметь возможно более высокий коэффициент усиления G и, следовательно, большие геометрические размеры, что делает ее дорогостоящим сооружением. Поэтому при заданной геометрической площади можно получить возможно больший коэффициент усиления G. Фактически, из-за неточностей, допускаемых при изготовлении антенны, из-за деформаций, вызываемых ветровыми нагрузками, односторонним солнечным нагревом и т. п., реальное усиление оказывается ниже максимального.

С увеличением значения G должна уменьшаться ширина главного лепестка диаграммы направленности. В случае уменьшения ширины диаграммы направленности до величин менее одного градуса необходимо снабжать антенну системой слежения, так как геостационарные спутники совершают сложные гармонические годовые и суточные колебания, которые с Земли наблюдаются в форме изменяющейся восьмерки (рис. 3.4).

Увеличение ширины диаграммы направленности уменьшению коэффициента усиления G и, как следствие, падению мощности приемника. сигнала входе Исходя ИЗ этого, оптимальной индивидуальных приемных устройств следует признать диаграмму направленности с шириной главного лепестка в пределах 1 —2°.

К уменьшению коэффициента усиления G приводит также наличие в диаграмме направленности антенны боковых лепестков. Еще одна причина, вставляющая уделять особое внимание боковым лепесткам, состоит в не-

обходимости обеспечения высокой помехозащищенности приемной установки (рис. 3.5).

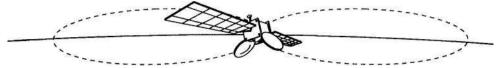


Рисунок 3.4. Колебания спутника-ретранслятора на геостационарной орбите

Через боковые лепестки на вход приемника могут попадать помехи от соседних спутников-ретрансляторов, от наземных радиолокаторов и радиорелейных линий связи, работающих в СВЧ диапазоне, и т. д. Таким образом, снижение уровня боковых лепестков (особенно уровня первого бокового лепестка) позволяет значительно повысить помехозащищенность приемной установки.

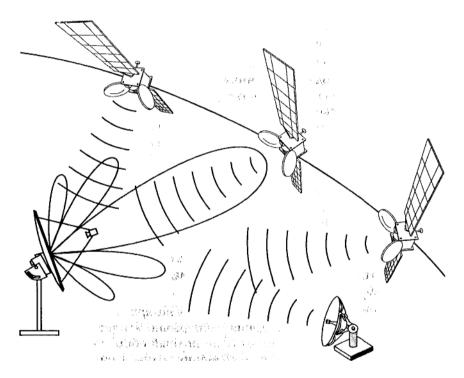


Рисунок 3.5. Влияние боковых лепестков диаграммы направленности на помехозащищенность приемной установки

Именно поэтому вводятся международные нормы на уровень огибающей направленности. Важно диаграммы также TO, И что радиосигналы, приходящие на вход приемника через боковые лепестки, в значительной мере определяют уровень собственных шумов антенны.

Кроме искусственных, на антенну воздействуют также различного рода естественные шумы, вызванные тепловым излучением Земли и земной атмосферы. Воздух и земля вблизи антенны, будучи средами, поглощающими к той или иной степени энергию радиоволн, сами создают

тепловое электромагнитное излучение. Наличие джоулевых потерь антенны также приводит к возникновению дополнительных шумов.

Особенностью перечисленных выше помех является их случайный, стохастический характер. Для определения их воздействия на приемную антенну используют понятие эквивалентной шумовой температуры антенны, которая определяется по формуле:

$$T_{3.a.}=P_{III.a.}/(kf)$$
,

где  $P_{\text{ш.а}}$  — мощность шумов, отдаваемая антенной в нагрузку; k — постоянная Больцмана (1.38\*10<sup>-23</sup> Дж/град); f — ширина полосы частот, в которой работает антенна.

Большое значение имеют поляризационные свойства антенны. Распространяющаяся электромагнитная волна характеризуется векторами электрической Е и магнитной Н напряженностей электромагнитного поля. Векторы Е и Н вдоль направления распространения волны непрерывно изменяют во времени свои значения в соответствии с законом, по которому изменялся ток в проводнике, возбудивший электромагнитную волну (рис. 3.6). Особую роль при распространении волны играет пространственная ориентация этих векторов. Поляризация излучения определяется положением вектора Е. Зная направление этого вектора в пространстве и изменение этого направления во времени, можно составить представление о характере поляризации волны.

В случае *линейной поляризации* вектор напряженности электрического поля колеблется по направлению от положительного до отрицательного в вертикальной или горизонтальной плоскости (вертикальная или горизонтальная поляризация) (рис. 3.6, a, б).

Более сложное представление имеет *вращающаяся поляризация* (рис. 3.6, в). В этом случае вектор Е в точке наблюдения непрерывно меняет свою ориентацию. За период волны вектор Е делает один полный оборот в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны. Кривая, которую описывает конец этого вектора в точке наблюдения за один период, называется *поляризационной характеристикой*.

Поляризационная характеристика антенны с вращающейся поляризацией представляет собой эллипс. Параметрами эллипса, определяющими его, являются коэффициент эллиптичности m и угол наклона  $\alpha$  (рис. 3.7). Коэффициент эллиптичности представляет собой отношение малой полуоси эллипса (OA =  $\alpha$ ) к большой (OB =  $\alpha$ ):

m=a/b.

Коэффициент m в общем случае может принимать значения от 0 до 1 (0 соответствует линейно поляризованному полю, 1 — полю с круговой поляризацией) . Углом наклона  $\alpha$  называется угол между большой осью эллипса и координатной осью X (рис. 3.7, в).

Для более полной оценки поля в точке наблюдения наряду с параметрами эллипса необходимо знать также направление вращения

вектора E и его начальную фазу (положение вектора E в плоскости XOY в момент времени t=0).

В зависимости от направления вращения вектора Е различают поля правого и левого вращения. Полем левого вращения называется такое, вектор Е которого вращается по часовой стрелке для наблюдателя, смотрящего навстречу направлению распространения волны. Вектор Е поля правого вращения вращается против часовой стрелки.

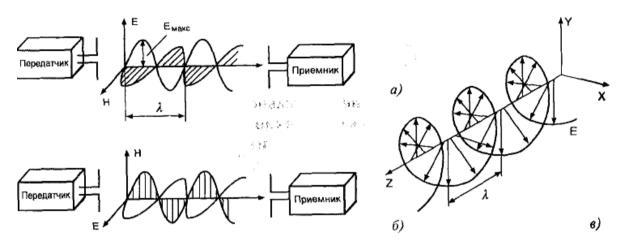


Рисунок 3.6. Структура электромагнитной волны:

а \_ вертикальная поляризация; б — горизонтальная поляризация; в — вращающаяся поляризация.

На рис. 3. 7 изображены различные поляризационные характеристики. Поляризационные характеристики, изображенные на рис. 3.7, а, б, соответствуют линейно поляризованному полю (m=0) и представляют собой прямую линию, ориентированную вдоль оси Y (вертикальная линейная поляризация) или вдоль оси X (горизонтальная линейная поляризация). Показанная на рис. 3.7, в поляризационная характеристика соответствует полю с вращающейся поляризацией и представляет собой эллипс (0 < m < 1). На рис. 3.7, г представлена поляризационная характеристика поля с круговой поляризацией (m=1) правого направления вращения (волна распространяется вдоль оси Z).

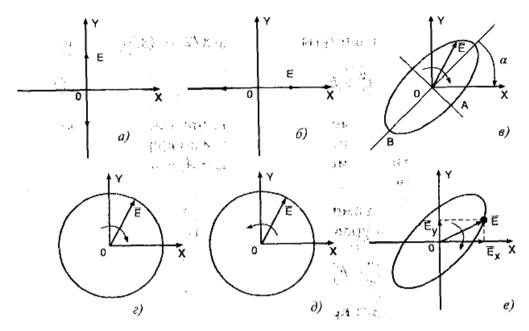


Рисунок 3.7. Поляризованные поля:

а \_ вертикально; б — горизонтально; в — эллиптически; г — поле круговой поляризации правого направления вращения; д — поле круговой поляризации левого направления вращения; е — представление поля с вращающейся поляризацией двумя взаимно перпендикулярными векторами

Необходимо отметить, что поляризация волн, проходящих через направление максимального излучения (главный лепесток), называется главной, или основной. В других плоскостях имеется составляющая поля, поляризованная перпендикулярно основной поляризации. Эта составляющая называется кроссполяризационной и является нежелательной, Уровень кроссполяризационного излучения определяется как отношение мощности, излучаемой антенной в направлении максимума на рабочем виде поляризации, к мощности, излучаемой этой же антенной, на побочном виде поляризации в направлении максимума побочного излучения.

Во многих случаях представляется удобным рассматривать электромагнитное поле как результат суперпозиции двух взаимно перпендикулярных полей, сдвинутых по фазе (рис. 3.7, е). Исходя из этого, поле в точке наблюдения можно описать при помощи компонент  $E_x$ ,  $E_y$ :

$$E_x = A_x * cos(\omega t + \psi),$$
  

$$E_y = A_y * cos(\omega t + \psi),$$

где  $A_x$ ,  $A_y$  – амплитуды колебаний соответствующих компонентов;  $\psi$  – начальная фаза колебаний;  $\omega$  – круговая частота.

Поляризация сигнала, излучаемого спутником-ретранслятором, определяется конструкцией его передающей антенны. Для обеспечения качественного телевизионного приема необходимо, чтобы поляризация приемной антенны соответствовала поляризации принимаемого сигнала.

Таким образом, исходя из приведенных выше сведений, можно сформулировать требования к основным характеристикам приемных антенн непосредственного телевизионного вещания. Антенны должны обладать:

- Высоким коэффициентом усиления (35 50 дБ) при достаточно высоком коэффициенте использования поверхности (0,5 0,7)
- Низким уровнем боковых лепестков (—25...—35 дБ)
- Малым значением шумовой температуры (20 30 К)
- Низким уровнем кроссполяризации (—30... —35 дБ)
- Необходимыми динамическими характеристиками и конструкции обеспечивающими сохранение электрических характеристик и надежную работу в заданных климатических условиях

Наиболее полно в настоящее время удовлетворяют приведенным выше требованиям зеркальные антенны, которые в основном и применяются в спутниковой радиосвязи.

## 3.2.Зеркальные антенны

Зеркальными антеннами называются антенны, у которых поле в их раскрыве формируется в результате отражения электромагнитной волны от поверхности специального рефлектора (зеркала). Источником (приемником) электромагнитной волны обычно служит небольшая элементарная антенна, называемая в этом случае облучателем зеркала, или просто облучателем. Зеркало и облучатель являются основными элементами зеркальной антенны.

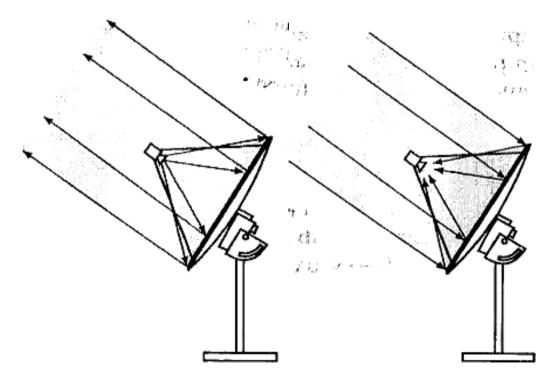


Рисунок 3.8.Передающая (а) и приемная (б) зеркальные антенны

На рис. 3.8, а представлен вариант зеркальной антенны в качестве передающей. В случае построения такой антенны как приемной (рис. 3.8, б) облучатель является уже не источником электромагнитного излучения, а приемником, который принимает сфокусированный антенной сигнал и передает его в конвертор.

У зеркальных антенн с рупорным или волноводным облучателем кроссполяризационные составляющие небольшие. Из-за отсутствия симметрии уровень кроссполяризационного поля для зеркала со смещенным облучателем относительно высок. Возможность двукратного использования частот на основе развязки по поляризации ограничена деполяризующими факторами среды распространения, как-то: осадков, облаков и ионосферных слоев атмосферы. Для волн с ортогональными поляризациями капли дождя, которые имеют сплюснутую форму, обусловливают различные эффективные путей, влияет уровень порождаемого ДЛИНЫ что на кроссполяризационного В ионосфере происходит излучения. поворот поляризованной плоскости поляризации линейно волны, вызванный эффектом Фарадея. Это приводит поляризационным К потерям, обусловленным рассогласованием поляризаций принимаемого поля и приемной антенны.

При разработке большинства антенных систем необходимо экспериментально определять уровень кроссполяризации.

Рядом достоинств по сравнению с однозеркальными антеннами обладают антенны, построенные по двухзеркальной схеме. Основными из этих достоинств являются:

- 1. Повышенный коэффициент использования поверхности раскрыва за счет наличия второго зеркала, облегчающего оптимизацию распределения амплитуд в раскрыве основного зеркала.
- 2. Уменьшенная длина тракта питания между приемопередающей аппаратурой и облучателем, например, за счет размещения аппаратуры за основным зеркалом вблизи его вершины
- 3. Низкая шумовая температура антенны за счет повышения КПД тракта питания с уменьшением его длины
- 4. Улучшенная конструкция антенны, а именно, уменьшены продольные размеры, упрощено крепление линии питания и облучателя
- 5. Оптимизированная плоскость антенны посредством обеспечивающих модификации форм поверхности зеркал, близкое к равномерному распределение поля в раскрыве двухзеркальной антенны при заданной диаграмме направленности облучателя

Следует иметь в виду и ту особенность двухзеркальной антенны, которая связана с «переливом» энергии облучателя за края зеркала. У однозеркальной антенны облучатель направлен к Земле, тогда как у

двухзеркальной — к Земле, что также снижает шумовую температуру антенны.

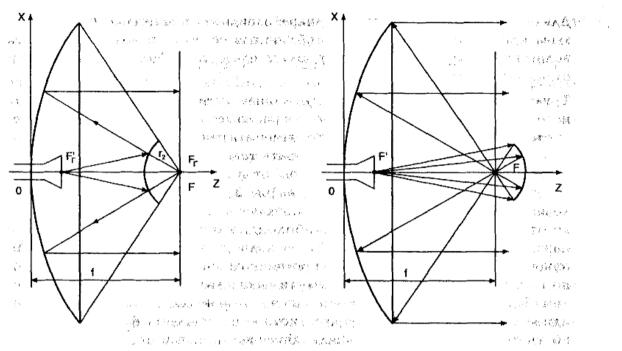


Рисунок 3.9. Антенна Кассегрена

Рисунок 3.10. Антенна Грегори

Традиционно двухзеркальные осесимметричные антенны строятся по схеме Кассегрена (рис. 3.9) и Грегори (рис. 3.10).

Рассмотрим двухзеркальную антенну, состоящую их параболоида и гиперболоида (антенна Кассегрена). В ней основным зеркалом по-прежнему является параболоид вращения, а вспомогательное представляет собой гиперболоид вращения, внутренний фокус  $F_r$  которого совмещен с фокусом F параболоида, а фазовый центр облучателя помещен во внешний фокус  $F_r$  гиперболоида (рис.3.9). Если поместить во внешний фокус такого зеркала облучатель, а внутренний фокус совместить с фокусом параболоида, то сферическая волна после отражения от гиперболоида, а затем и от параболоидного зеркала превратится на поверхности антенны в плоскую волну.

Для повышения КПД производят оптимизацию двухзеркальной антенны. Этот процесс заключается в определении форм поверхностей зеркал, которые обеспечивали бы равномерное распределение поля в раскрыве двухзеркальной антенны. Если размеры вспомогательного зеркала достаточно велики по сравнению с длиной волны, то удается обеспечить крутой спад поля у краев основного зеркала и значительно уменьшить перелив энергии.

Совершенно очевидно, что облучатель является весьма ответственным узлом антенной системы, поэтому рассмотрению его конструкции необходимо уделить особое внимание.

Основные требования, предъявляемые к облучателям зеркальных антенн, состоят в следующем:

- 1. Желательно, чтобы диаграмма направленности облучателя была однонаправленной, имела осевую симметрию и минимальный уровень боковых лепестков. Для получения оптимальных электрических характеристик антенны ширина  $2\theta_0$  (рис. 3.11) главного лепестка диаграммы направленности  $F(\theta)$  ее облучателя должна быть согласована с углом  $2\theta_0$  раскрыва антенны (в идеальном случае они должны быть равны)
- 2. Фазовый центр облучателя не должен быть «размытым». В идеальном случае он должен быть точечным и положение его не должно зависеть от направления. Нарушение этого условия приводит к нарушению синфазности поля в раскрыве зеркала и, следовательно, к искажению диаграммы направленности и снижению коэффициента усиления
- 3. Облучатель должен быть расположен так, чтобы его фазовый центр находился в фокусе зеркала
- 4. Облучатель должен в минимальной степени заслонять зеркало, так как затенение приводит к искажению диаграммы направленности зеркальной антенны, в частности, к увеличению уровня боковых лепестков.
- 5. Облучатель должен быть широкодиапазонным и выдерживать мощность электромагнитных волн без пробоя. Заметим, что диапазонность зеркальной антенны в целом полностью диапазонностью облучателя определяется фидерного тракта, так как параметры самого зеркала от частоты либо совсем не зависят. либо зависят очень слабо. взаимного Диапазонность антенны зависит ОТ также расположения облучателя и зеркала

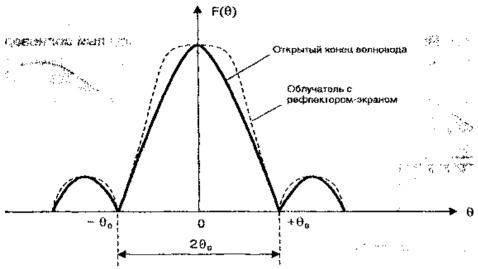


Рисунок 3.11. Диаграмма направленности облучателя

Как уже отмечалось выше, приемный комплекс должен обеспечивать прием электромагнитных волн различной поляризации. Для этой цели в конструкции антенной системы предусмотрено устройство выбора поляризации — поляризатор.

Поляризатор антенны обеспечивает возможность преобразования поляризованных определенным образом электромагнитных волн в сигнал с требуемой конвертора линейной поляризацией. ДЛЯ Широкое распространение получила плавная подстройка поляризации. Потребность в плавном изменении поляризации возникает в системах, предназначенных для приема с нескольких спутников. Одна из причин состоит в том, что сигналы с некоторых спутников передаются поляризованными не вертикальной или горизонтальной плоскости, а наклоненными к ним под определенным утлом. Кроме того, сигнал принимается в той же плоскости, в которой был послан, только тогда, когда спутник и приемная антенна находятся на одной долготе. Если же спутник расположен на другой долготе, то, в силу того, что Земля имеет форму шара, плоскость поляризации принятого сигнала расположена под некоторым углом к исходной плоскости поляризации. Причем этот угол тем больше, чем сильнее различаются долготы спутника и приемной антенны.

Поляризаторы систем непосредственного телевизионного вещания могут быть электромагнитными или механическими. Физический принцип действия электромагнитного поляризатора (рис. 3.12) основан на эффекте Фарадея.

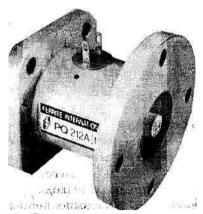


Рисунок 3.12. Электромагнитный поляризатор

Электрический ток, протекающий В катушке, намотанной на ферритовый стержень, продольное При создает магнитное ноле. распространении электромагнитной волны вдоль намагниченного феррита направление ее поляризации отклоняется на некоторый угол. Величина этого угла зависит от длины ферритового стержня и величины магнитного поля, т. е. от величины тока в катушке. Практически это означает, что, изменяя величину тока в катушке, можно добиться совпадения направления поляризации волны на выходе поляризатора с направлением, которое необходимо на входе внешнего блока.

Сложность заключается в том, что для сигналов различной частоты значения тока в катушке должны быть различными, т. е. поляризационные характеристики электромагнитного поляризатора частотно зависимы. Наиболее просто эта проблема решается в том случае, если внутренний блок снабжен микропроцессором. Данные о необходимом значении величины тока для каждой программы хранятся в памяти микропроцессора. При выборе желаемой программы спутникового ТВ микропроцессор обеспечивает необходимое значение тока в катушке поляризатора.

На практике число витков катушки индуктивности делается достаточно большим, чтобы ток потребления не превышал 50 мА. Размеры ферритового стержня выбирают таким образом, чтобы направление поляризации изменялось максимум на 45°. При смене полярности тока, протекающего через катушку, направление поляризации изменяется также на 45°, но в противоположном направлении. В результате наблюдается смена поляризации.

Достоинство поляризатора (фазовращателя), основанного на использовании эффекта Фарадея, состоит в отсутствии подвижных элементов и в возможности осуществлять юстировку направления поляризации плавным изменением величины тока, протекающего через катушку. Потери, вносимые такими поляризаторами, составляют обычно 0,2 —0,3 дБ. Недостатком поляризаторов является постоянное потребление энергии.

Рассмотрим механические способы корректировки поляризации. Если ставится задача с помощью однозеркальной антенны осуществить одновременный прием сигналов двух поляризаций (например, в приемных

системах коллективного пользования), то для линейно поляризованных устройства сигналов ЭТОМ случае применяют специальные фазовращатели (разделители поляризации — Ortomode Transducer). В подобных устройствах (рис. 3.13), выполненных в виде волноводного тройника, волны вертикальной и горизонтальной поляризаций поступают на вход круглого волновода, а выходят разделенными по поляризации через основной боковой выходы, выполненные И В виде волноводов прямоугольным сечением. Если основной выход выполнен в виде волновода круглого сечения, то при подключении к нему конвертора пользуются специальным трансформатором. При использовании таких фазовращателей требуется два конвертора, подключаемых к соответствующим выходам. В выходы обоих конверторов очередь, соединяются с коаксиального переключателя поляризации, управляемого дистанционно. Сигнал ПЧ1 выбранной поляризации передается по общему коаксиальному кабелю в приемник.

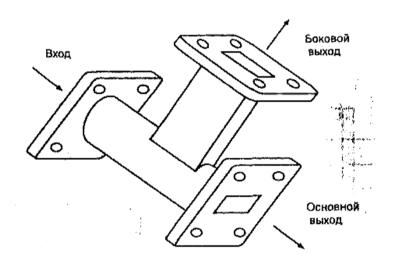


Рисунок 3.13. Разделитель поляризации (ортомод)

В последних разработках СВЧ-конверторов делают сдвоенные СВЧтракты, а волны горизонтальной и вертикальной поляризаций принимают из круглого входного волновода с помощью двух ортогональных емкостных штырей (рис. 3.14). Лучшие результаты получаются, если один штырь расположен от короткозамкнутого конца волновода на расстоянии  $\lambda/4$ , а другой — 3 ( $\lambda/4$ ), однако это удлиняет конвертор. Поэтому, пренебрегая взаимовлиянием емкостных штырей, их нередко располагают в одной плоскости.

Часто применяются поляризаторы, в которых переключение плоскости поляризации осуществляется электромеханическим поворотом зонда, находящегося в круглом волноводе облучателя (рис. 3.15). Волна с вертикальной поляризацией, сформировавшаяся в круглом волноводе облучателя, снимается емкостным зондом, выполненным в виде петли и находящимся в строго определенном положении. Поворот зонда на 90° в произвольном

направлении обеспечивает прием сигналов горизонтальной поляризации. Блок дистанционного управления, поворачивающий зонд при помощи двигателя малой мощности, часто встроен в приемник. Угол поворота зонда определяется длительностью управляющих импульсов и периодом их следования. Потери в подобных поляризаторах также составляют 0,2 — 0,3 дБ, а развязка между волнами различной поляризации — 25 — 30 дБ.

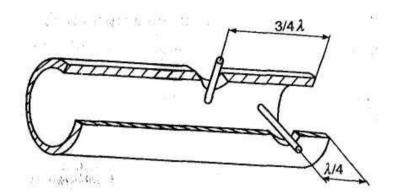


Рисунок 3.14. Прием сигналов вертикальной и горизонтальной поляризаций с помощью емкостных штырей

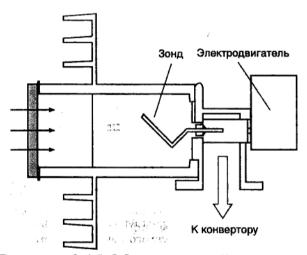


Рисунок 3.15. Механический поляризатор

В некоторых вещательных спутниках (например, Astra) используются лево- и правосторонняя круговые поляризации. Для приема сигналов с таких волноводные устройства, спутников применяются преобразовывающие линейную. круговую поляризацию В Один ИЗ вариантов такого преобразования может быть осуществлен с помощью фазирующих диэлектрических вставок, размещенных под углом 45° в круглом волноводе с волной Н11 (рис. 3.16).

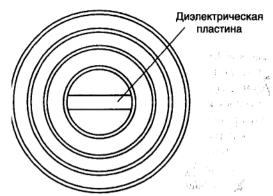


Рисунок 3.16. Облучатель с диэлектрической пластиной для преобразования вращающейся поляризации в линейную

На рис. 3.17, а, б показаны две ортогональные составляющие волны с круговой поляризацией на входе секции. Допустим, волна Н<sub>11</sub> отстает по фазе на 90°, но так как ее вектор Е перпендикулярен диэлектрической вставке, то ее фазовая скорость выше, чем волны Н"<sub>11</sub>. Поэтому в конце фазирующей секции фазы волн уравняются и результирующий вектор Е будет расположен вдоль вертикальной оси (рис. 3.17, в). Для приема волн с круговой поляризацией встречного направления надо повернуть диэлектрическую пластину на 90°.

Поляризатор, преобразующий круговую поляризацию в линейную (и наоборот), можно сделать, деформируя круглый волновод до эллиптического сечения и используя тот факт, что через эллипсоидальный волновод ортогональные Н волны идут с разной скоростью.

Надо отметить, что если облучатель с фазирующей секцией предназначен для приема волн с круговой поляризацией, а с его помощью будет приниматься линейно поляризованный сигнал, то будет потеряна половина мощности сигнала (т. е. мощность уменьшится на 3дБ). Аналогичная потеря уровня сигнала будет наблюдаться при приеме антенной для линейной поляризации сигнала с круговой поляризацией.

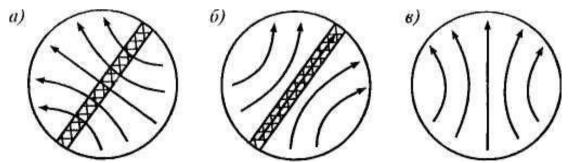


Рисунок 3.17. Преобразование круговой поляризации в линейную с помощью диэлектрической пластины

#### 3.3.Плоские антенны

Большой интерес вызывает использование антенн с плоской поверхностью, или плоских антенн. Наиболее перспективными для СНТВ являются плоские антенны, состоящие из набора соединенных между собой параллельных полосковых излучателей, образующих таким образом плоскую антенную решетку (AP).

По сравнению с зеркальными антеннами они обладают рядом преимуществ. К основным достоинствам таких антенн следует отнести:

- Большую устойчивость к воздействию факторов окружающей среды: ветра, дождя, снега
- Высокую технологичность изготовления
- Возможность управления диаграммой направленности
- Простоту установки
- Небольшую массу

На рис. 3.18 представлена примерная классификация полосковых антенн.

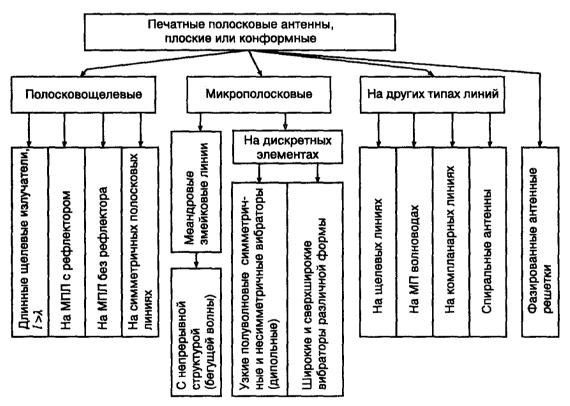


Рисунок 3.18. Классификация полосковых антенн

Конструктивно антенна представляет собой диэлектрик, на который в соответствии с технологией изготовления печатных плат нанесены проводящие полоски (обычно медные) определенной формы. Совокупности

таких полосок образуют элементарные излучатели (ЭИ) различной геометрии (круг, эллипс, треугольник, прямоугольник, квадрат и др.).

Переход от простых форм ЭИ к усложненным позволяет одновременно решать задачи согласования активной и компенсации реактивной компонент входного сопротивления ЭИ, обеспечения необходимого вида поляризации и др.

Основой полосковых антенн является слоистый диэлектрик с одним или несколькими металлическими экранами. Введение в конструкцию СВЧприборов диэлектриков революционизировало технологию их изготовления и расширило функциональные возможности этих приборов. Однако при использовании диэлектриков структура электромагнитных полей значительно усложнилась. Если при проектировании элементов полосковых трактов еще используются методы, косвенно или приближенно **учитывающие** присутствие диэлектрика, то при анализе излучения полосковых устройств, части коротковолновой сантиметрового диапазона миллиметровом диапазоне волн, необходимо знание точной структуры как пространственных, так и поверхностных волн.

Широкому распространению полосковых антенн содействовало появление новых типов диэлектриков, обладающих малыми потерями и высокой степенью однородности материала. Наличие диэлектрика позволяет уменьшить линейные размеры излучающих элементов и использовать их при создании миниатюрных антенных систем. Однако присутствие этого покрытия и связанных с ним поверхностных волн усложняет определение характеристик направленности.

Наиболее широко применяются антенны на основе *микрополосковых* (МП) линий. Разделение функций излучения и распределения энергии по площади раскрыва антенны (антенной решетки) между излучателями и схемой питания помогает облегчить процесс разработки подобных устройств. Базовый излучающий элемент МП-антенн предложил в 1974 г. R. E. Munson (USA), он же описал основные параметры, варианты согласования и применения антенн на основе МП-излучателей.

В его работе, открывающей целое направление в развитии полосковых антенн, предложен излучатель в виде металлического листа (пленки) прямоугольной или круглой формы (рис. 3.19) с линейным размером около  $\lambda/2$ . поверхности расположенного на тонкой (много меньше X) диэлектрической пластины, обратная сторона которой полностью металлизирована. Плоский излучатель над экраном является отрезком микрополосковой линии (МПЛ).



Рисунок 3.19. Прямоугольный излучатель

В этой же работе проанализированы варианты круглого и квадратного излучателей, МПЛ питания к которым подведены с двух взаимно перпендикуляр-11ых направлений от квадратурного моста. Таким образом реализуется режим излучения волн с круговой поляризацией. Рассмотрен также способ построения фазированной антенной решетки (ФАР) на примере линейки излучателей, в цепи питания которых расположены управляемые фазовращатели, а также способ питания прямоугольного излучателя с двух смежных сторон, чем обеспечивается двухчастотный режим излучения волн с ортогональной поляризацией.

Направлением дальнейших исследований стало совершенствование МП-излучателей и расширение сферы их применения. Наиболее подробно были разработаны конструкции МП-излучателей прямоугольной формы, способы их питания, согласования и получения с их помощью различных режимов излучения.

Одним из важнейших вопросов конструирования МП-антенн является способ питания ЭИ. Возбуждение антенн осуществляется от коаксиальной или полосковой линии. Питание МП-излучателей с помощью коаксиальных кабелей предпочтительно в низкочастотной части диапазона СВЧ, а также для одноэлементных антенн. Для построения антенных решеток удобнее в качестве подводимых к излучателям фидеров использовать микрополосковые линии. Недостатком данного варианта являются значительные потери в полосковых линиях на частотах 11 — 12 ГГц, доходящие до 2 — 6 дБ/м, что затрудняет изготовление конструкций площадью более 1 м².

В одноточечной схеме питания (рис. 3.20) МПЛ подводят к точке, находящейся на поверхности излучателя, посредством узкого вреза, выполненного вдоль оси излучателя или вдоль одной из его диагоналей.



Рисунок 3.20. Одноточечная схема питания ЭИ с помощью МПЛ

Применяются также и двухточечные способы питания, при этом точки ком такта МПЛ и излучателя выбирают на его сторонах или диагоналях на рай ном расстоянии от центра.

Среди способов питания прямоугольных МП-излучателей выделяется подведение МПЛ к одному из углов (рис. 3.21). При этом, если длина излучатели равна  $\lambda/2$ , а ширина —  $\lambda/4$ , получают линейно поляризованное излучение с направлением вектора электрического поля вдоль более длинной оси излучателя. При различии длин смежных сторон излучателя на 10-15% имеет место излучение с эллиптической поляризацией.

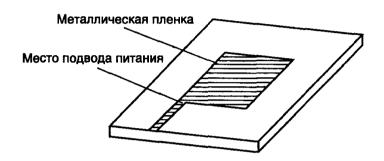


Рисунок 3.21. Угловой способ литания ЭИ

Для квадратного излучателя направление вектора поляризации совпадает с направлением диагонали, проведенной через угол, к которому подведено питание. Такой же излучатель, соединенный с реактивной нагрузкой, позволяет изменять поляризацию от линейной до эллиптической без изменения размеров квадрата. Реактивной нагрузкой может быть узкий шлейф, подсоединяемый к одной из сторон излучателя.

Простота и разнообразие способов получения круговой поляризации являются одним из преимуществ полосковых антенн перед другими, включая традиционные волноводные. Поэтому в дополнение к уже рассмотренным излучателям выделим некоторые конструкции, созданные специально для получения круговой поляризации.

На рис. 3.22 представлен МП-излучатель в форме квадрата на поверхности диэлектрической подложки, обратная сторона которой покрыта металлом и заземлена.

Точка питания излучателя может быть расположена посредине одной из сторон, в углу или внутри него. Круговая поляризация излучения обеспечивается использованием поляризующего элемента — прямоугольного узкого участка в центральной части излучателя, на котором удален слой металла. Стороны этого элемента наклонены к оси симметрии излучателя под углом 45.

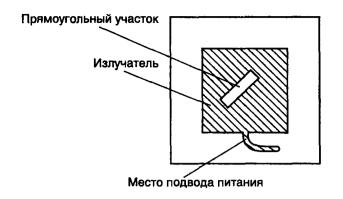


Рисунок 3.22 Элементарный излучатель с круговой поляризацией излучения

Геометрию другого излучателя (рис. 3.23), созданного для получения круговой поляризации, можно выразить в цифрах — размерах сторон (в долях длины волны в диэлектрике) неправильного пятиугольника. Как и предыдущий, оба излучателя удобны для использования при построении многоэлементных антенных решеток. Необходимо отметить только, что для работы пятиугольного излучателя существенное значение имеют его согласование и положение точки питания, что влечет за собой необходимость использования высокоомных МП-линий и согласующих трансформаторов.

Иная форма излучателя представлена на рис. 3.24. Здесь излучающий элемент выполнен в виде эллипса, малая ось которого равняется приблизительно  $\lambda/2$ , а эксцентриситет находится в пределах 0,4 — 0,9 (оптимальное значение 0,65).



Рисунок 3.23. Пятиугольный ЭИ с круговой поляризацией излучения.

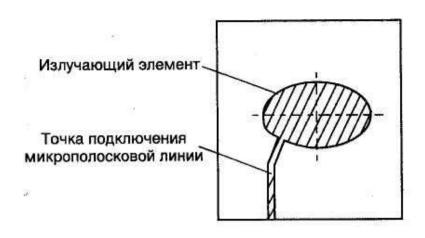


Рисунок 3.24. Эллиптическая ЭИ с круговой поляризацией излучения

Представленные ЭИ практически не обладают направленными свойствами. Так например, стандартный прямоугольный ЭИ имеет диаграмму направленности, изображенную на рис 3.25.

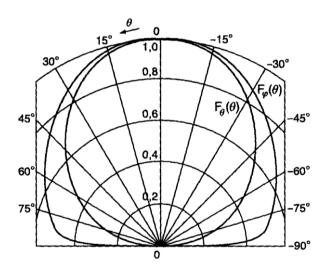


Рисунок 3.25. Диаграмма направленности прямоугольного ЭИ в главных плоскостях

Вид поляризации излучения такой антенны зависит от положения точки под включения МПЛ.

Для создания узких диаграмм направленности из ЭИ формируется антенная решетка (рис. 3.26). Ширина главного лепестка диаграммы направленности определяется, в основном, ее размерами. Наименьший уровень боковых лепестков создается в плоскости, проходящей через диагональ AP.

МП-антенн Одним ИЗ основных недостатков является ИХ узкополосность. Ограничение полосы происходит из-за резкого рассогласования антенны уже при незначительном отличии частоты подводимой волны от резонансной частоты..

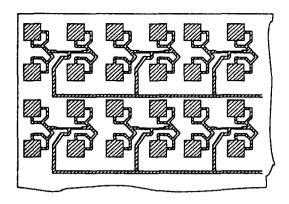


Рисунок 3.26. Антенная решетка

Задача расширения рабочей полосы частот МП-излучателя может быть решена как путем увеличения толщины подложки, так и путем усложнения конструкции. Примером реализации второго подхода может служить дисковая антенна, изображенная на рис. 3.27.

Центральная часть диска электрически соединена с заземленным экраном. Радиус одного из секторов диска больше радиуса остальной части. Точка возбуждения расположена на той части поверхности диска, которая имеет меньший радиус.

отводимой волны от резонансной частоты.

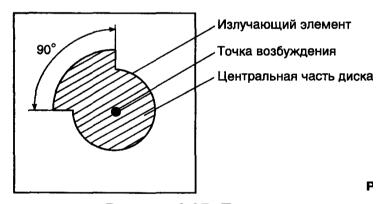


Рисунок 3.27. Дисковая антенна

В полосковой антенной технике первыми были использованы полосково-щелевые антенные элементы и решетки.

По конструкционным признакам можно выделить несколько разновидностей таких антенн:

- Двухслойные, в которых излучающие щели, выполненные в одном из экранов, расположены над заземленным экраном на расстоянии примерно  $\lambda/4$
- Двухслойные плоские, с наложенными друг на друга подложками

• Комбинированные (одно- и многослойные щелевые антенны с МП излучателями или другими устройствами)

В ряде конструкций необходимы электрические короткозамыкатели — заклепки, соединяющие по периметру щелей и полосковых линий, лицевую часть металлизированной поверхности с экранной, для устранения паразитных колебаний, возникающих в диэлектрике, расположенном между металлическими плоскостями.

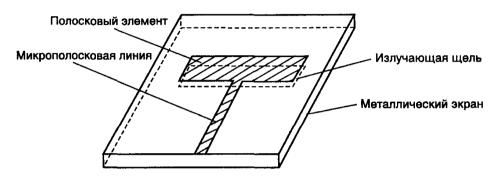


Рисунок 3.28. Простейшая полосково-щелевая антенна

Несмотря на сложность, низкую устойчивость к механическим деформациям и климатическим воздействиям, подобные конструкции используются благодаря их основному преимуществу — экранированности линий распределения мощности.

Простейшая 3.28) полосково-щелевая антенна (рис. содержит неэкранироваиную микрополосковую линию, нагруженную через полосковый элемент на излучающую щель, выполненную в металлическом Полосковый экране. элемент играет роль отражателя, создающего направленное излучение щели.

Другая щелевая антенна (рис. 3.29) собирается ИЗ трех диэлектрических пластин. Ha металлизированых поверхности пластины, металлизированной с одной стороны, вытравливается щель-окно. Металлизированная поверхность второй пластины образует область Тобразной формы, которая выступает за пределы щели и перекрывает ее. Третья пластина является экраном. Пластины соединяются через отверстия, расположенные по периметру щели, причем два отверстия проходят через концы Т-зонда.

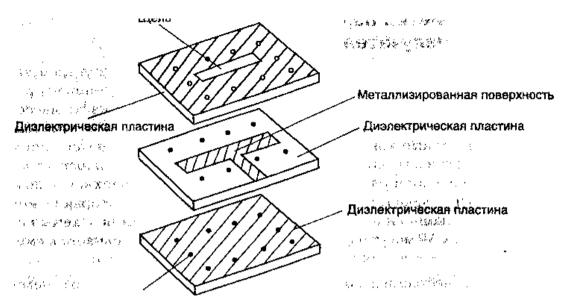


Рисунок 3.29. Трехслойная конструкция щелевой антенны

Полосковые АР образуют относительно самостоятельный класс устройств, позволяющий расширить область применения антенн СВЧ, по новому решить проблемы их надежности, механической прочности, снизить массогабаритные стоимость изготовления. показатели И рассматриваемого конструкции полосковых класса отдельные различаются типом использованных базовых линий передачи; видом и геометрией плоскостного излучателя; способом расположения излучателей на поверхности подложки; связью излучающих элементов со схемой питания, которая может быть гальванической или индуктивной; способом соединения. Схемы питания полосковых АР могут быть последовательного, параллельного и смешанного типов.

Наряду с преимуществами полосковых AP, необходимо отметить и ряд недостатков, характерных для всех типов таких антенн: потери в полосковых линиях передачи; значительная взаимосвязь между излучателями, а также между полосковыми линиями и излучателями; высокий уровень паразитного излучения открытых линий и бокового излучения за счет поверхностной волны, распространяющейся вдоль подложки.

Рассмотрение конкретных конструкций AP начнем с конструкций, имеющих последовательную схему питания. Они отличаются простотой и компактностью, однако существенный недостаток — узкополосность и чувствительность к разбросам диэлектрической проницаемости — ограничивает сферу их применения.

Примером подобной конструкции является антенная решетка (рис. 3.30, а) построенная так, что излучающие элементы расположены вдоль нескольких МПЛ, соединенных с делителем мощности и оканчивающихся согласованными нагрузками. Расстояние от МПЛ до излучателей обратно пропорционально величине связи и уменьшается по направлению от входов МПЛ к оконечным нагрузкам. Связь может регулироваться также изменением ширины полосковых проводников, например, ее увеличение в сторону оконечных нагрузок. Возможны также другие варианты конструкций

с различным расположением излучателей, например, питающая полосковая линия и виде меандра.

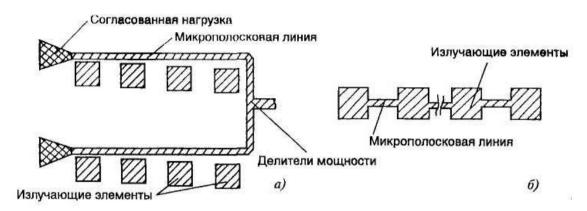


Рисунок 3.30. АР с последовательной схемой питания

Другие варианты построенных таким же образом антенных решеток различаются формой излучателей. Направление поляризации зависит от угла наклона элементов по отношению к МПЛ. Располагая элементы попарно на расстоянии четверти длины излучаемой волны и перпендикулярно друг другу, можно получить круговую поляризацию излучения.

Некоторые конструкции с последовательным типом питания построены посредством чередования гальванически связанных отрезков МПЛ различной ширины (рис. 3.30, б). При этом широкие отрезки являются излучателями, а узкие — передающими полуволновыми линиями, и вся цепочка вытянута и направлении вектора напряженности электрического поля.

Из сказанного выше ясно, какими разнообразными возможностями обладают полосковые излучатели и, конечно, следует ожидать оригинальных решений при создании фазированных антенных решеток (ФАР). Как уже отмечалось, главным достоинством антенных решеток является возможность управления диаграммой направленности. Это достигается путем изменения фазового сдвига между токами в соседних излучателях на одну и ту же величину.

Реализация этого изменения фазового сдвига может быть различной. Возможны конструкции многоэлементных ФАР, набираемые из полосковых модулей излучателей, фаза излучения которых управляется внешней цепью питания; возможны конструкции ФАР, в которых дискретно изменяется фаза излучения самих излучателей. К разряду пассивных ФАР можно отнести отражательные решетки полосковых элементов, фаза отражения которых зависит от управляющего электрического сигнала на пассивных отражающих элементах.

Для формирования антенного луча в двух взаимно перпендикулярных плоскостях и обеспечения возможности управления его положением в некотором пространственном секторе необходимо использовать двумерную решетку излучателей (рис. 3.31).

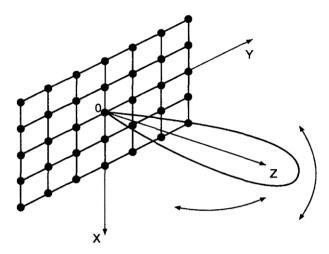


Рисунок 3.31. Плоская двумерная антенная решетка

Применение такой ФАР в системах непосредственного телевизионного вещания пока еще экономически нецелесообразно, поэтому в настоящее время разрабатываются более простые устройства, обеспечивающие перемещение луча в одной плоскости (ФАР с одномерным сканированием луча).

Для создания необходимых фазовых сдвигов между токами излучателях решетки необходим довольно сложный фидерный тракт. Различают последовательные, параллельные и комбинированные схемы. В последовательных схемах (рис. 3.32, а) используются, как правило, идентичные фазовращатели, при помощи которых создаются одинаковые фазовые сдвиги между токами в соседних излучателях. Если нужно отклонить антенный луч на некоторый угол, то следует изменить сдвиг фаз на одну и ту величину, соответствующую ЭТОМУ отклонению. Недостатками же последовательной схемы являются весьма высокие требования к системе управления, к стабильности работы фазовращателей, а также довольно

На рис. 3.32, б представлена параллельная схема. Коэффициент полезного действия схемы примерно соответствует коэффициенту полезного действия одной параллельной ветви и, как правило, получается более высоким, чем в последовательной схеме. Схема не требует высокой стабильности фазовращателей. Недостатком схемы является сложность системы управления, обусловленная тем, что требуется применение фазовращателей с разным диапазоном изменения сдвига по фазе.

большие потери.

Схема, приведенная на рис. 3.32, в, является комбинированной, так как в ней деление мощности осуществляется последовательно при помощи направленных ответвителей, а фазовращатели включены параллельно. Достоинством этой схемы является возможность независимой регулировки амплитудного распределения путем изменения коэффициентов связи в направленных ответвителях.

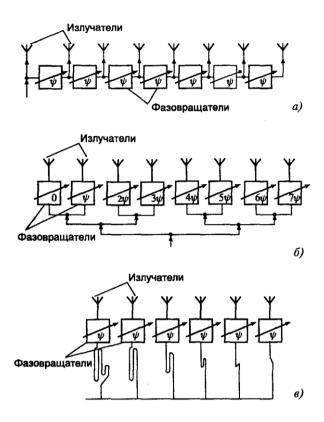


Рисунок 3.32. Линейные решетки с последовательной (а), параллельной (б) и комбинированной (В) схемами включения фазовращателей.

Технология изготовления микрополосковых антенн позволяет устанавливать управляемые фазовращатели (ФВ) одновременно с ЭИ. Современные ФВ изготавливаются из полупроводниковых диодов, варакторов или интегральных микросхем.

Использование ФАР в СНТВ позволяет получить удобный для пользователя режим работы при автопоиске спутников с последующим запоминанием их координат и быстрым переключением на нужный спутник. Для сравнения отметим, что переход со спутника на спутник в электромеханической системе с параболическим зеркалом может занимать десятки секунд.

К недостаткам плоских AP следует отнести более низкий чем у зеркальных антенн с такой же площадью КПД. Необходимо также отметить узкодиапозонность и невозможность работы одной антенны с различными видами поляризации, т. е. для каждого типа поляризации требуется своя антенна, в противном случае число принимаемых каналов будет ограничено выбранным способом поляризации.

# 3.4.Опорно-поворотные устройства.

Одним из важнейших элементов антенны является устройство для ее крепления — опорно-поворотное устройство (ОПУ). ОПУ предназначено для подвески антенной системы и наведения ее луча на спутник-ретранслятор. При этом антенна может быть установлена как неподвижно, и принимать программы только с одного спутника, на который сориентирована, так и на специальном поворотном устройстве для перенацеливания со спутника на спутник.

Конструкция ОПУ должна позволять удерживать приемный луч антенны в направлении на ИСЗ с точностью не хуже одной десятой ширины диаграммы направленности. При малых значениях ширины диаграммы направленности выполнение этого требования является определяющим при конструировании системы наведения. Опорно-поворотные устройства классифицируются по схеме подвески зеркала. Рассмотрим важнейшие из них с учетом особенностей конструкции при наведении на геостационарный спутник связи.

### А) Азимутально-угломестная подвеска.

Она используется для прожекторов, кинокамер и т. п. У этой подвески (рис. 3.33) имеются вертикальная первичная (неподвижная) и горизонтальная вторичная оси. Вертикальную ось Z называют азимутальной, а горизонтальную — угломестной. Последняя вращается относительно первичной, сама же антенна поворачивается вокруг вторичной оси.

Геометрия подвески приведена на рис. 3.34. Здесь показаны видимая полусфера, первичная ось ТА (вертикальная), начальное положение вторичной оси ТВ (мосток) и начальное направление луча антенны ТС (север, угол места 0). Вращение вокруг оси ТА приводит луч к направлению  $TC_1$  (азимут  $\phi$ , угол места 0), а вторичную ось — к направлению  $TB_1$  (азимут  $90^{\circ}+\phi$ ). Вращение относительно вторичной оси приводит луч к направлению  $TC_2$  (азимут  $\phi$ , угол места  $\phi$ ).

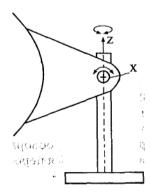


Рисунок 3.33. Азимутально-угломестная подвеска

Начальной для всех направлений является точка Т. Точка А может быть принята для обозначения направления ТА. Это условие упрощает рассмотрение азимутально-угломестной подвески. Согласно данному условию, описание движений по азимуту и углу места сводится к следующему: первичная ось имеет направление А (зенит), начальное направление вторичной оси — В (восток) и начальное направление луча — С (север, угол места 0). Вращение вокруг точки А приводит луч в точку  $C_1$  (азимут  $\phi$ , угол места 0), вторичную ось — и  $B_1$  (азимут  $90^\circ$ +  $\phi$ , угол места 0). Вращение относительно этой вторичной оси приводит луч в  $C_2$  (азимут  $\phi$ , угол места  $\phi$ ).

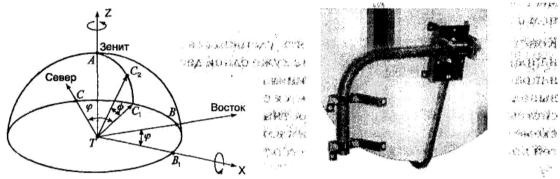


Рисунок 3.34. Геометрия азимутальноугломестной подвески

Рисунок 3.35. Вариант азимутально угломестной подвески

Для автоматического перенацеливания антенны на другой спутник требуется независимое вращение вертикальной и горизонтальной осей, что является непростой задачей и, следовательно, делает эту систему достаточно дорогой. СНТВ наибольшее распространение получили азимутально-угломестные конструкции с жестким вариантом крепления (рис. 3.35).

#### Б) Горизонтальная подвеска

Если первичная ось горизонтальна, а вторичная перпендикулярна ей, то такое устройство называют подвеской в осях X—Y(рис. 3.36). Особенностью этого типа подвески является изменение угла места при вращении любой из осей, одновременное же их вращение приводит к изменению азимутального угла.

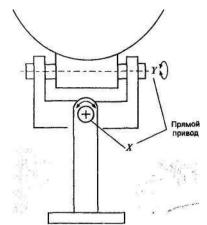


Рисунок 3.36. Горизонтальная подвеска

Чтобы исключить влияние Земли, обе оси должны быть подняты над ней не менее чем на половину диаметра антенны. Если антенна имеет большие размеры, то указанное условие приводит к усложнению конструкции. Однако при небольших размерах сложностей не возникает.

Основное преимущество горизонтальной подвески реализуется в системах с автоматическим сопровождением спутника для устранения основного недостатка азимутально-угломестной подвески — «мертвой зоны» в районе зенита. Как и азимутально-угломестная, горизонтальная подвеска в СНТВ применяется главным образом с жестким вариантом крепления.

### В) Трипоидная подвеска

Для антенн, имеющих большие размеры (2м и более), может применяться простая и дешевая трипоидная подвеска, хорошо известная по устройству теодолита (рис. 3.37). В этом опорно-поворотном устройстве антенна прикреплена к раме, которая связана с неподвижной подставкой тремя штоками. Один из них имеет фиксированную длину, два других — регулируемую. С помощью регулируемых штоков в некоторых пределах можно изменять направление луча. Диапазон настройки штоков подбирается с таким расчетом, чтобы перекрываемая область неба была достаточно велика, а неподвижную подставку ставят в такое положение, чтобы ИСЗ находился в середине области настройки.

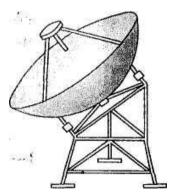


Рисунок 3.37. Трипоидная подвеска

#### Г) Полярная подвеска

Огромную популярность в СНТВ приобрела полярная подвеска, которая обладает важным преимуществом: поворотом в одной плоскости можно просматривать видимую часть геостационарной орбиты. Работу полярной подвески поясняет рис. 3.38.

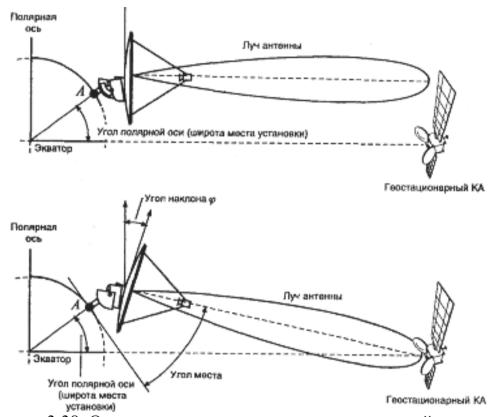


Рисунок 3.38. Ориентация антенны с помощью полярной подвески

Допустим, приемная антенна расположена в точке A и ее азимутальная ось вращения параллельна полярной оси (что и обусловливает название подвески). В этом случае очевидно, что, если выбрать необходимый угол наклона ф и вращать антенну по азимуту, то можно осуществить прием с любого из геостационарных спутников, не затененных Землей. Вращение антенны осуществляется при помощи электропривода.

Первые попытки адаптации полярной подвески, оснащенной электроприводом, к перенацеливанию на все видимые геостационарные спутники не учитывали необходимости небольшого отклонения от истинной полярной оси, вследствие чего удавалось просматривать только часть геостационарной орбиты (рис. 3.39).

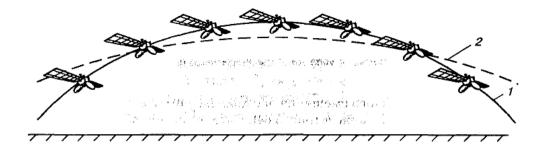


Рисунок 3.39. Наведение антенны полярной подвеской на геостационарную орбиту:

1 — без отклонения от истинной полярной оси;

2 — отклонением истинной полярной оси

Особую трудность при настройке такой системы вызывали антенны с шириной диаграммы направленности менее  $1^{0}$ , так как в этом случае удавалось обеспечить просмотр геостационарной орбиты в секторе около  $\pm 30^{\circ}$ . Для устранения этого недостатка и обеспечения точности наведения до  $0.01^{\circ}$  по всей видимой части геостационарной орбиты необходимо произвести отклонение азимутальной оси антенны от истинной полярной оси на некоторый угол а (корректирующий угол), величина которого зависит от географической широты В (рис. 3.40).

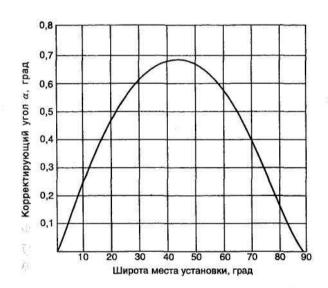


Рисунок 3.40. Требуемое отклонение азимутальной оси подвески от полярной оси в зависимости от широты места установки

# Вопросы для самопроверки

- 1. Что такое рабочий диапазон волн?
- 2. В каких плоскостях строится ДН? Какие свойства антенны она характеризует?
- 3. Что показывает КНД Антенны?
- 4. Через какую площадь поверхности приемная антенна собирает энергию?
- 5. Какая математическая зависимость существует между КНД, эффективной площадью и Коэффициентом усиления антенны?
- 6. От каких параметров зависит шумовая температура антенны?
- 7. Какая характеристика антенны называется поляризационной?
- 8. Какие антенны называются зеркальными?
- 9. В чем отличие однозеркальной антенны от двухзеркальной?
- 10. Какие геометрические характеристики имеет параболоидный излучатель?
- 11. Какие требования предъявляются к облучателям зеркальных антенн?
- 12. Какую форму имеет ДН облучателя?
- 13. Что обеспечивает поляризатор антенны?
- 14. Для чего применяется плавная подстройка поляризации?
- 15. Какие виды поляризаторов существуют? В чем заключается их принцип работы? Какие у них отличительные черты?
- 16. Какие достоинства имеют плоские антенны по сравнению с зеркальными?
- 17. По каким признакам классифицируются полосковые антенны?
- 18. Из каких элементов состоят полосковые антенны?
- 19. Какие способы питания применяются для МПИ?
- 20. Что собой представляют антенные решетки? Для чего они применяются?
- 21. Какие типы конструкций имеет полосково-щелевая антенна?
- 22. Какие разновидности АР существуют?
- 23. Для чего предназначено опорно-поворотное устройство?
- 24. Какие схемы подвески зеркал применяются в ОПУ?

# 4.Конверторы

# 4.1. Общие сведения о конверторах

Конверторы — это устройства, обеспечивающие усиление и преобразование сигнала в первую промежуточную частоту 0,7-2,15 Ггц.

Технология производства конверторов для СНТВ основана на опыте, накопленном при создании малошумящих усилителей (LNA — Low Noise Amplifier). Малошумящий усилитель только усиливает сигнал, тогда как конвертор (LNB — Low Noise Blockconvertor), помимо обеспечения необходимого усиления при минимально возможном уровне шумов, преобразовывает частоты сигнала до частоты, воспринимаемой спутниковым приемником: 950 — 1750 МГц или 900 —2150 МГц (расширенный).

Первые СВЧ-усилители, использовавшиеся в радиоастрономии, были созданы на основе обычных параметрических усилителей. В них применялись туннельные диоды, которые охлаждались жидким азотом или гелием. Это позволяло значительно снизить уровень собственных шумов устройства за счет замедления движения молекул. Усилители имели большие габариты, вес, потребляли много энергии и работали в узкой полосе частот.

Использование арсенида галлия (GaAs) позволило создать транзистор с очень низким уровнем шума. Эти транзисторы работают почти так, как будто они охлаждены до температуры абсолютного нуля, когда прекращается всякое молекулярное движение. GaAs-транзисторы в настоящее время являются основными при производстве СВЧ- аппаратуры СНТВ.

В ранних спутниковых системах С-диапазона принятый сигнал сначала усиливался в LNA, а затем частота его понижалась в отдельном блоке, который носит название LNC (Low Noise Converter— малошумящий преобразователь). Это требовало применения дорогого коаксиального кабеля и разъемов с малыми потерями сигнала, максимально близкой установки антенны и спутникового приемника. В целом система имела ряд серьезных ограничений, была трудно устанавливаема и дорога.

Существенным конструктивным улучшением системы было выделение устройства понижения частоты в отдельный блок и его установка вблизи малошумящего преобразователя. Это позволило применить более дешевый коаксиальный кабель и увеличить его длину до 100 м без введения дополнительных линейных усилителей.

Следующим, вполне логичным шагом было объединение LNA и малошумящего преобразователя в одно устройство — LNB. Именно LNB подразумевается в настоящее время под словом конвертор.

LNB первых выпусков весили почти 3 кг и имели коэффициент шума в Ки-диапазоне 4—5 дБ. Современные конверторы С-диапазона имеют шумовую аппаратуру до 15 К, а Ки-диапазона — коэффициент шума до 0,5 дБ. Их вес составляет 300 — 400 г.

Использование различных параметров для характеристики уровня собственных шумов, обусловлено следующим обстоятельством. Уровень собственных шумов конверторов С-диапазона варьируется весьма незначительно, поэтому, если его выразить в Кельвинах, будет обеспечена большая наглядность.

Сегодня имеются два типа малошумящих транзисторов СВЧ, доступных проектировщикам и изготовителям бытовой СВЧ- аппаратуры: HEMT- транзисторы (High electron mobility transistor), обладающие высокой подвижностью электронов, и полевые транзисторы с барьером Шотки (ПТШ).

ПТШ начали использоваться с начала 70-х годов, в то время как НЕМТ стали коммерчески доступны только с 1987 г. Основное различие между ними состоит в том, что НЕМТ имеет меньший коэффициент шума на заданной частоте, чем ПТШ, однако последний обладает более высоким коэффициентом усиления.

В качестве примера приведем основные параметры популярных HEMTтранзисторов фирмы NEC:

NE 42484 — коэффициент шума 0,6 дБ, усиление 10,5 дБ на частоте 12 ГГц

NE 32584 — коэффициент шума 0,45 дБ, усиление 12 дБ на частоте 12 ГГц

NE 32984 — коэффициент шума 0,4 дБ, усиление 12,5 дБ на частоте 12 ГГц

Ведущие научно-исследовательские лаборатории различных компаний работают над созданием следующего поколения НЕМТ-транзисторов. Вместо арсенида галлия планируется использовать фосфид индия (InP). Уже появились сообщения об InP HEMT-транзисторе; с коэффициентом шума 0,3 дБ и усилением 17 дБ на частоте 12 ГГц. Планируется использовать два таких транзистора вместо трех GaAs.

### А) Источники шумов в конверторе

Понятие шума является одним из основных при рассмотрении спутниковой радиосвязи. Уровень шума определяет минимальную величину сигнала, который может быть принят приемным устройством, т. е. такую важнейшую его характеристику, как чувствительность.

Шумы, действующие в цепях приемного устройства, по своему происхождению могут быть внешними и внутренними. К первым относятся космические шумы, шумы атмосферы, квантовые шумы сигнала и фоновых засветок, ко вторым — э. д. с. и токи, возникающие в элементах приемного тракта за счет хаотического движения носителей электрических зарядом.

Источниками внутренних шумов приемного устройства являются резисторы, колебательные цепи, активные элементы.

Физическую природу собственных шумов можно пояснить на примере возникающих Как известно, тепловых шумов, В проводниках. кристаллическая любого свободные решетка проводника содержит электроны, находящиеся в непрерывном тепловом хаотическом движении, интенсивность которого зависит от температуры. Во время движения электроны взаимодействуют друг с другом, в результате чего изменяются направление и скорость их перемещения. Каждое перемещение электрона между двумя взаимодействиями можно рассматривать как элементарный импульс тока. В сумме все элементарные импульсы (средняя длительность которых примерно  $10^{-13}$  с) и создают шумовое напряжение в проводнике.

Коэффициент шума конвертора измеряется при комнатной температуре и может отличаться от номинального значения на величину до 0,01 дБ/°С.

Условия эксплуатации конверторов являются весьма жесткими: на них непосредственно воздействуют атмосферные осадки и перепады температур, зависящие от климата региона. Конвертор является необслуживаемым устройством, поэтому должна обеспечиваться их полная взаимозаменяемость без каких-либо дополнительных регулировок. Соединения и корпус должны быть пыле- и влагозащищенными.

Основные технические характеристики конвертора:

- Диапазон принимаемых частот
- Коэффициент шума
- Нестабильность частоты гетеродина
- Коэффициент усиления
- Фазовые шумы

Усиление современного конвертора составляет 50—70 дБ. Для обеспечения эффективной работы приемного комплекса величина этого параметра очень важна.

Недостаточное усиление равнозначно применению антенны меньшего диаметра, чрезмерное усиление приведет к перегрузке входных цепей приемного устройства. В целом же усиление конвертора должно быть согласовано с длиной кабеля (затуханием в нем сигнала) и чувствительностью приемного устройства. По оценкам специалистов, рекомендуемое усиление должно составлять минимум 50 дБ, максимум 60 дБ. Следует отметить, что это значение уменьшается на 0,2—0,3 дБ при повышении температуры на каждые 10°С.

#### Б) Технология изготовления

С точки зрения конструктивно-технологических методов исполнения конверторы можно разделить на три группы:

- 1. По технологии поверхностного монтажа
- 2. По гибридной технологии
- 3. По технологии монолитных интегральных схем СВЧ

Схемы отдельных узлов конверторов первой группы выполняются на подложках из органических диэлектриков с использованием технологии поверхностного монтажа. Основное достоинство конверторов данного типа — дешевизна производства. Ввиду того, что недорогие органические диэлектрики типа дюроида, армированного фторопласта, арилокса с

наполнителем имеют большие температурные коэффициенты расширения, при большом количестве термоциклов иногда возникают микротрещины и, как следствие, отказы.

Вторая группа конверторов изготовляется по технологии гибридных микросхем (ГИС) СВЧ. В качестве подложек в интегральных используются неорганические диэлектрики ИЗ окиси или глиноземной керамики типа поликор. Эти подложки либо непосредственно, либо через термокомпенсирующие прокладки припаиваются к корпусу. Проводники, резисторы, индуктивности частично, И, конденсаторы в этом случае путем напыления методами тонко- или выполняются толстопленочной технологии. Активные элементы (диоды и транзисторы) виде отдельных кристаллов арсенида изготовляются привариваются в соответствующие точки схемы с помощью коротких выводов. Достоинствами таких конверторов являются малые габариты, высокая надежность и возможность настройки.

В основе конверторов третьей группы лежит технология монолитных интегральных схем СВЧ. Преимущественно используются арсенидгаллиевые и реже кремниевые подложки. Преимущества подобных схем: крайне малые размеры, высокая надежность, воспроизводимость, минимальные реактивные параметры. Однако существуют технологические трудности, связанные с воспроизводством многослойных структур из арсенида галлия, реализацией СВЧ-схем (сквозных элементов контактов перемычек), повышением добротности и расширением диапазона номиналов катушек индуктивности и отрезков конденсаторов, линии передачи. Последняя проблема имеет особое значение, так как для уменьшения размеров и стоимости микросхемы пассивные элементы приходится делать сосредоточенными, а это приводит к уменьшению их добротности.

Технологические трудности при производстве таких конверторов в основном и определяют их высокую стоимость. Разработка конверторов, несмотря на простоту выполняемых ими функций, достаточно сложна, так как должна решаться проблема массового производства недорогой техники сантиметровых волн.

По мере развития конструкции конверторов происходила отработка методов преобразования частоты.

### В) Конвертор с однократным преобразованием частоты

Устройство понижения частоты в первых спутниковых системах Сдиапазона работало по принципу однократного преобразования (рис. 4.1, a).

Выбор необходимого канала здесь осуществляется подачей управляющего напряжения на гетеродин, что вызывает его перестройку. Основной недостаток такой системы заключается в явлении интерференции на близлежащих каналах. Поэтому приходилось использовать дорогие и сложные схемы фильтрации.

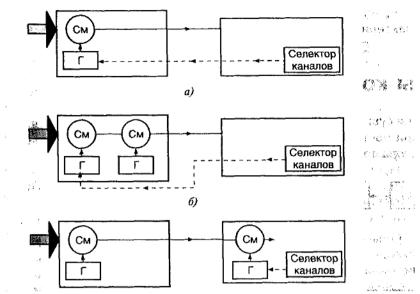


Рисунок 4.1. Функциональная схема преобразования частоты в конверторе: а — однократное преобразование; б — двойное преобразование; в — преобразование частоты в LNB

### Г) Конвертор с двойным преобразованием частоты

Использование схемы с двойным преобразованием сигнала (рис. 4.1, б) позволило устранить недостатки, присущие конверторам с однократным преобразованием. Однако в результате этого увеличилась сложность и стоимость конструкции за счет использования второго гетеродина и смесителя, а также возникла необходимость в применении второго полосового фильтра и усилителя промежуточной частоты.

#### Д) LNB

Конструкция LNB основана на использовании гетеродина, настроенного на фиксированную частоту и стабилизированного объемным в). диэлектрическим резонатором 4.1, Весь (рис. диапазон принимаемый конвертором, понижается в смесителе И спутниковый приемник, где происходит дальнейшее преобразование и выбор канала.

По сравнению конверторами однократного двойного преобразования, LNB имеет существенное преимущество: через него проходят все каналы данного диапазона, что позволяет использовать один конвертор для приема разных программ несколькими спутниковыми приемниками одновременно. Также следует отметить большую устойчивость настройки, так как выбор канала производится в закрытом помещении, где электронные компоненты защищены от перепадов температуры и влажности (устойчивость системы основном определяется характеристиками В гетеродина конвертора).

### Е) Элементы конвертора

В настоящее время существуют разнообразные схемотехнические решения, используемые при построении бытовых конверторов. Структурная схема типового конвертора представлена на рис. 4.2.

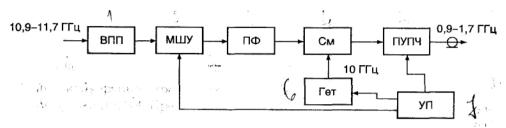


Рисунок 4.2. Классическая структурная схема конвертора:

ВПП — волноводно-полосковый переход; МШУ — малошумящий усилитель; ПФ — полосовой фильтр; См — смеситель; Гет — гетеродин (СВЧ генератор, входящий в состав преобразователя частоты); ПУПЧ — предварительный усилитель промежуточной частоты; УП — устройство питания

Волноводно-полосковый переход предназначен для согласования входной микрополосковой линии первого каскада МШУ с выходом поляризатора облучателя антенны. Это наиболее распространенный элемент соединения волновода с микрополосковой линией, позволяющий добиться хороших электрических параметров при малом уровне отражений и потерь в заданной полосе частот.

Волноводно-полосковые переходы, строго говоря, являются переходами сначала на коаксиальный кабель, а затем уже на полосковую линию. Вносимые потери зависят от качества исполнения и составляют около 0,25 дБ. Важным условием является полная герметизация в месте погружения зонда. Примеры исполнения волноводно-полосковых переходов представлены на рис. 4.3. Необходимое согласование в них производится путем подбора глубины погружения зонда (рис. 4.3, а) или положения короткозамкнутого поршня (рис. 4.3, б).

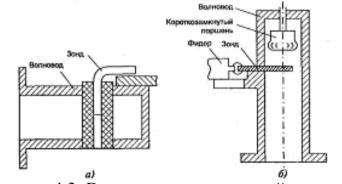


Рисунок 4.3. Волноводно-полосковый переход

Малошумящий усилитель (МШУ) должен обеспечивать равномерное усиление во всем рабочем диапазоне с неравномерностью амплитудночастотной характеристики (АЧХ)  $\pm 1$  дБ и иметь линейную фазочастотную характеристику (ФЧХ). Необходимо также удовлетворить ряд противоречивых требований: обеспечить минимальный коэффициент шума, согласование усилителя по входу, максимальный коэффициент усиления.

Каждый усилительный каскад (рис. 4.4) состоит из четырех цепей: входной и выходной цепей, цепи смещения и активного элемента.

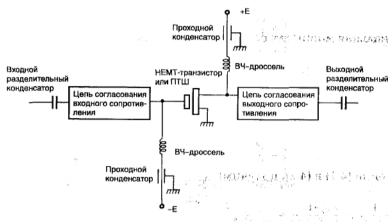


Рисунок 4.4. Усилительный каскад МШУ

Входная цепь предназначена для согласования входного сопротивления активного элемента (транзистора) и обеспечения минимума коэффициента шума.

Выходная цепь служит для согласования выходного сопротивления с последующим каскадом.

Цепь смещения обеспечивает режим работы транзистора по постоянному току.

Наибольшее распространение в МШУ получила схема с общим истоком, так как она обладает большей устойчивостью по сравнению с другими способами включения полевых транзисторов.

Активный элемент представляет собой НЕМТ-транзистор или ПТШ и обеспечивает усиление сигнала.

Полосовой фильтр обеспечивает прохождение только определенной полосы частот с потерями не более 3 дБ, а также ослабление зеркального канала и сигнала гетеродина на 30 — 40 дБ (рис. 4.5).

В сантиметровом диапазоне волн  $\Pi\Phi$  выполняют на полосковых и микрополосковых линиях, так как спиральные индуктивности и сосредоточенные конденсаторы не обеспечивают необходимой добротности. Наиболее часто используются  $\Pi\Phi$  на микрополосковых параллельно связанных резонаторах.

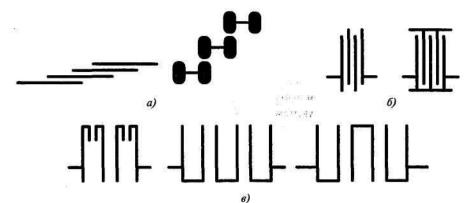


Рисунок 4.5. Полосовые фильтры СВЧ: а — лестничные; б — шпилечные; в — решетчатые

Центральная частота фильтра зависит от длины полосковых элементов, ширина полосы пропускания — от ширины линий и расстояния между ними. Чем больше число звеньев фильтра, тем круче его амплитудно-частотная характеристика, но также выше и вносимое затухание.

Амплитудно-частотная характеристика полосового фильтра, выполненного на связанных полуволновых резонаторах, представлена на рис. 4.6.

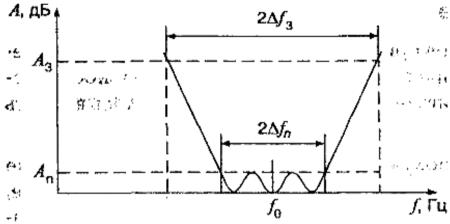


Рисунок 4.5. Частотная характеристика полосового фильтра  $A_3$  — заданная величина затухания, соответствующая полосе заграждения  $2\Delta f_3$ ;  $A_n$  — величина затухания, соответствующая полосе пропускания  $2\Delta f_n$ ;  $f_0$  — средняя частота полосы пропускания

*Гетеродин* — это неперестраиваемый маломощный высокостабильный генератор электрических колебаний.

Смеситель в конверторах традиционно выполняется на полупроводниковых диодах или арсенидгаллиевых полевых транзисторах и решает задачу преобразования частоты сигнала 11-12 ГГц в диапазон частот 0.75-2.15 ГГц. Наиболее важным параметром смесителя являются потери преобразования. Величина этих потерь определяется схемным построением. Использование диодных преобразователей приводит к потерям 5-10 дБ. В случае если нелинейным элементом преобразователя служит

ПТШ, можно осуществить преобразование без потерь и даже с некоторым усилением (3—10 дБ). Стремление упростить конструкцию и улучшить технические характеристики привело к появлению таких схемных решений, которые позволяют использовать транзистор, работающий как смеситель и гетеродин одновременно.

Диодный смеситель обычно строится по балансной схеме на двух парноподобранных диодах с барьером Шотки (ДБШ), так как при этом обеспечивается меньший коэффициент шума по сравнению с однотактной (небалансной) схемой. Наиболее часто применяют балансные диодные смесители на трехдецибельных СВЧ-мостах. На рис. 4.6 показан принцип построения подобных смесителей.

Трехдецибельный мост делит напряжение поступающего сигнала и сигнала гетеродина пополам и подает на диодные цепи. Кроме того, мост автоматически обеспечивает развязку между цепями сигнала и гетеродина и низкое значение коэффициента стоячей волны на входе в рабочей полосе частот. Чем широкополоснее мост, тем проще в настройке смеситель и стабильнее работает выходной каскад МШУ, так как он оказывается согласованным в более широкой полосе частот. Стоящие на выходах моста короткозамкнутые шлейфы (КЗШ) пропускают на диоды напряжения сигнала и гетеродина и шунтируют на землю напряжение промежуточной частоты, препятствуя его прохождению на вход смесителя. Шлейфы с холостым ходом (ХХШ) на концах, напротив, шунтируют напряжения сигнала и гетеродина, а для промежуточной частоты (ПЧ) составляют небольшую емкостную компоненту, которая вместе с индуктивностью L и выходной емкостью С создает полосовой фильтр для промежуточной частоты. Длины полосковых шлейфов должны составлять четверть длины волны для частоты гетеродина, так как сигнал гетеродина более мощный и его просачивание в усилитель промежуточной частоты труднее заблокировать.

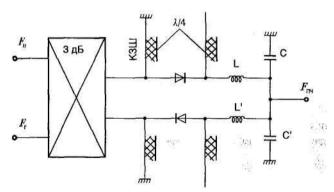


Рисунок 4.6. Принцип построения балансного смесителя СВЧ

Удачным вариантом балансного смесителя без использования трехдецибельного моста является конструкция, приведенная на рис. 4.7. По сигнальной цепи оба диода размещены на расстоянии полуволны, поэтому их нагрузочные сопротивления включены параллельно. По гетеродинной цепи

диоды включены параллельно, что тоже надо учитывать при согласовании этого смесителя с гетеродином.

Обладая многими достоинствами (низким коэффициентом шума, высокой линейностью, простотой конструкции), представленная схема смесителя имеет один существенный недостаток — ослабляет преобразуемый сигнал. Этого недостатка лишены транзисторные смесители, выполненные на ПТШ и обеспечивающие при приемлемом значении коэффициента шума (4,5 — 6,0 дБ) усиление сигнала на 5— 10 дБ. Вначале использовались конструкции смесителей с однозатворными ПТШ, сигнал гетеродина на которые подавался одним из способов, показанных на рис. 4.8.

Схема на рис. 4.8, а требует слабой связи направленного ответвителя и, следовательно, повышенной мощности гетеродина. Недостатком схемы на рис. 4.8, б является наличие в цепи обратной связи сопротивления, вносимого гетеродином, что приводит к снижению усиления и увеличению коэффициента шума. Схема на рис. 4.8, в наиболее удобна с точки зрения подачи напряжения сигнала и гетеродина, однако колебания напряжения ПЧ на стоках противофазными оказываются и полоса пропускания ограничивается суммирующей Кроме τογο, требуется полосой цепи. тщательное согласование цепи затворов на частотах сигнала и гетеродина. Наилучшие результаты получаются при использовании смесителей с двухзатворными ПТШ. Напряжения сигнала и гетеродина прикладываются к разным затворам, и нужна только одна фильтрующе-согласующая схема в цепи стока (рис. 4.8, г, где СЦ — согласующая цепь, ФНЧ и ФВЧ — фильтры нижних и верхних частот). Главное преимущество схемы с двухзатворным ПТШ — ее простота. Не требуется ответвителеи, гибридных соединений, нужны лишь простейшие согласующие схемы. Это особенно важно для монолитных интегральных схем, где согласующие цепи должны быть компактными.

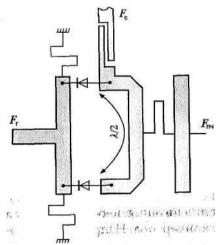


Рисунок 4.7. Балансный диодный смеситель.

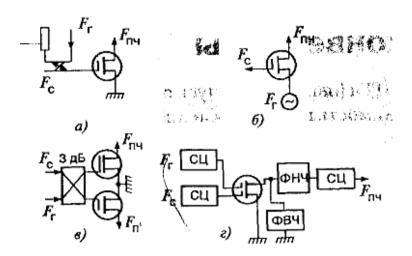


Рисунок 4.8. Смесительные каскады на полевых транзисторах с барьером Шотки

Необходимо особенность отметить ОДНУ рассматриваемых конструкций: почти во всех смесителях используется принцип регенерации энергии зеркальной частоты, который получил название «восстановление зеркального канала». В этом режиме полная проводимость нагрузки смесителя на зеркальной частоте имеет чисто реактивный характер, и зеркальная составляющая, полностью отражаясь, преобразуется В составляющую, синфазную c основным компонентом, что дает снижение потерь преобразования и шумовой температуры смесителя.

Основные требования к смесителям конверторов СНТВ:

- Минимальный коэффициент шума.
- Минимальные потери преобразования
- Линейность ФЧХ
- Равномерность АЧХ

Предварительный усилитель промежуточной частоты (ПУПЧ) обеспечивает усиление конвертора. Поскольку к нему не предъявляется жестких требований по коэффициенту шума, он может быть выполнен на биполярных слабосигнальных транзисторах: МОП- транзисторах, ПТШ и гибридных модулях усиления, а также их комбинациях. Так как усиление с увеличением частоты падает, ПУПЧ должен иметь соответствующие согласующие цепи для компенсации избыточного усиления на низких частотах. Неравномерность АЧХ должна быть не более ±2 дБ.

Устройство питания предназначено для обеспечения высокостабильного разнополярного, относительно корпуса, напряжения питания, необходимого для нормального функционирования всех узлов конвертора. Напряжение питания +12 В относительно корпуса подается на конвертор с приемного устройства по центральной жиле коаксиального соединительного кабеля.

К узлу электропитания предъявляются следующие требования:

- Не создавать электрических помех
- Обеспечить узлы конвертора стабильным напряжением питания

На рис. 4.9 представлена типовая функциональная схема устройства питания конвертора.



Рисунок 4.9. Функциональная схема устройства питания конвертора

### Ж) Полнодиапазонные конверторы

По мере освоения диапазона 11,70 - 12,75 ГГц (например, запуск спутников TDF, TELE-X и др. в Европе) возникла необходимость появления полнодиапазонных конверторов (10,70 - 12,75 ГГц), работающих в трех поддиапазонах: FSS (Fixed Satellite Servies) - 10,7-11,7 ГГц; DBS (Direct Broadcast Servies) — 11,70-12,45 Гц и BSS (Broadcast Satellite Servies) — 12,45 - 12,75 ГГц, причем последний часто называют Telecom от названия французских спутников, вещающих в этом диапазоне (рис. 4.10).

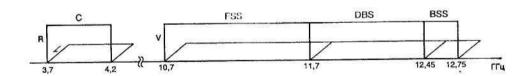


Рисунок 4.10. Полосы частот С- и Ки-диапазонов

Данная задача была успешно решена с появлением широкополосных НЕМТ-транзисторов с низким коэффициентом шума. Структурная схема полнодиапазонного конвертора представлена на рис. 4.11. Он имеет один МШУ, а разделение диапазонов происходит в полосовом фильтре ПФ, при этом обработка сигналов в диапазонах DBS и Telecom совмещается. Каждый диапазон (10,7—11,7 и 11,70—12,75 ГГц) имеет свой смеситель и гетеродин, но общий ПУПЧ. Одним из преимуществ такой конструкции является возможность плавной подстройки поляризации.

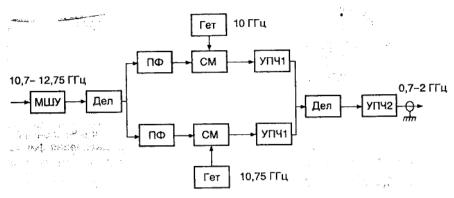


Рисунок 4.11. Функциональная схема полнодиапазонного конвертора с одним МШУ

Еще одним вариантом полнодиапазонного конвертора является конвертор с переключением поляризации, который также называется интегральным (рис. 4.12).

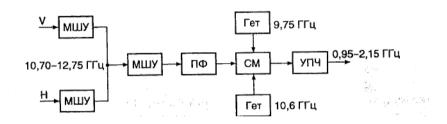


Рисунок 4.12. Функциональная схема полнодиапазонного конвертора с переключением поляризации

### 3) Универсальные конверторы

Основное отличие универсальных конверторов от полнодиапазонных состоит и универсальности сигналов, управляющих переключением диапазонов и поляризации, а также тем, что эти сигналы передаются по одному кабелю с промежуточной частотой. Верхняя и нижняя частоты гетеродинов в большинстве универсальных конверторов имеют значения 10,60 ГГц и 9,75 ГГц соответственно.

Такая унификация значительно упрощает процесс настройки спутникового приемника на данный конвертор. Для этого в экранном меню достаточно выбрать опцию «универсальный конвертор», чтобы при смене канала приемник автоматически формировал необходимые управляющие сигналы.

# И) Конверторы с несколькими выходами

При построении распределительной сети на несколько пользователей удобно использовать конверторы с двумя или четырьмя выходами. Как правило, они имеют встроенный поляризатор, управляемый напряжением 13/18

В. По характеру выходных сигналов такие конверторы делятся на два типа. Конверторы первого типа имеют два или четыре равноценных выхода с независимым переключением диапазонов и поляризации. Такие конверторы наиболее удобны для распределения сигнала для 2 — 4 пользователей. При большем числе потребителей лучше использовать конверторы второго типа. Сели у такого конвертора 2 выхода, то на них выводятся соответственно сигналы вертикальной и горизонтальной поляризации, а если 4 — то сигнал делится еще и по диапазонам. Двухвыходные конверторы такого типа удобно использовать, если планируется осуществлять прием верхнего или нижнего поддиапазона. В таком случае на один СВЧ-вход спутникового приемника подается горизонтальная поляризация, а на другой — вертикальная. Сигналы с четырехвыходных конверторов второго типа используются в кабельных сетях или при организации небольших систем коллективного приема. В последнем случае сигналы с выходов конвертора подаются на входы коммутаторов для дальнейшей разводки потребителям.

заключение необходимо отметить различные варианты конструктивного исполнения корпуса конвертора. В идеале он должен быть герметичным. В противном случае, за счет суточного колебания температуры внутри конвертора образуется конденсат, который приводит к ухудшению его параметров и, в конечном итоге, к выходу из строя. Высокий уровень герметичности достигается в конверторах, помещенных в запаянный, неразборный корпус. Недостатком такой конструкции невозможность ремонта конвертора. Некоторые конверторы изготавливаются в двойном кожухе; внутренний металлический кожух закрыт внешним пластмассовым. Поэтому большая часть конденсата выпадает между двумя оболочками и вытекает в предусмотренное для этого сливное отверстие.

### Вопросы для самопроверки

- 1. Что такое конвертор?
- 2. Какие виды шумов могут присутствовать в конверторе?
- 3. Какие технические характеристики, относятся к основным техническим характеристикам конвертора?
  - 4. Какие технологии применяются при изготовлении конверторов?
  - 5. Какие виды преобразования частоты применяются в конверторе?
  - 6. Из каких блоков состоит конвертор?
  - 7. Что такое ВПП и для чего он предназначен?
  - 8. Какие виды полосковых фильтров применяются в конверторе?
- 9. В чем заключается отличие смесителей, применяемых в конверторах друг от друга? Какие смесители лучше и почему?
  - 10. Какие разновидности конверторов существуют?

# 5. Спутниковые приемники

# 5.1.Аналоговый спутниковый приемник

Спутниковый приемник (receiver — ресивер), наряду с антенной и конвертором, является третьей составной частью приемной установки СНТВ. Он предназначен для дальнейшего преобразования сигнала первой ПЧ, поступающего с конвертора, во вторую ПЧ, а также демодуляции с последующим формированием из выделенных сигналов изображения и звука телевизионного НЧ-сигнала и радиосигнала с амплитудной модуляцией в стандарте наземного телевидения.

В аппаратуре СНТВ принята полоса первой промежуточной частоты 0,95-1,75 ГГц, что соответствует длинам воли 31 — 17 см, т. е. дециметровому диапазону. Максимальная частота 60-го дециметрового канала наземного телевизионного вещания составляет 790 МГц. На первый взгляд кажется, что, если перестроить стандартный селектор дециметрового канала телевизора на более высокий диапазон, то уже можно будет обрабатывать первую промежуточную частоту СНТВ. Однако это не так, поскольку сигналы аналогового спутникового телевидения имеют частотную модуляцию и ширину полосы частот, занимаемую каналом, 27 МГц, тогда как в наземном телевидении сигналы амплитудно-модулированные, с полосой канала 8 МГц. Таким образом, задача спутникового приемника — настройка на нужный канал и преобразование принятого сигнала в стандартный телевизионный формат.

Общепринятой для приемных установок СНТВ в настоящее время является схема с двойным преобразованием частоты: первая ПЧ выбрана равной 0,95 — 1,75 ГГц, при этом гетеродин конвертора имеет фиксированную настройку, а канал выбирают перестройкой второго гетеродина, т. е. в приемнике.

Это решение оптимально, так как перестройка частоты производится простыми и экономичными техническими средствами, обеспечивается необходимая избирательность по соседнему и зеркальному каналам и обратному излучению гетеродина. Выбор указанного значения первой ПЧ обусловлен необходимостью компромисса между противоречивыми требованиями к значению первой ПЧ, так как для приема сигналов в полосе 800 МГц, подавления зеркального канала, обратного излучения гетеродина, частота которого должна лежать вне полосы частот принимаемых сигналов, ПЧ должна быть выбрана как можно выше, а для уменьшения потерь в соединительном кабеле между конвертором и приемником, а также для уменьшения стоимости мало шумящего усилителя ПЧ она должна быть не слишком высокой. Вторая ПЧ определяется из условия защиты второго преобразователя от помех по зеркальному каналу. При низких значениях второй ПЧ, равных 70, 130 и 134 МГц, что имело место в приемных

установках выпуска начала 80-х годов, зеркальный канал лежит в полосе первой ПЧ.

Современная технология производства интегральных схем основных функциональных узлов, работающих на частотах 700 МГц и выше, полосовых фильтров на структурах с поверхностно-акустическими волнами допускает увеличение значения второй ПЧ. В настоящее время большинство спутниковых приемников имеют вторую ПЧ, равную 479,5 МГц и, реже, 612 МГц.

Диапазон входных частот многих современных спутниковых приемников СНТВ расширен до 0,70 \_\_\_ 2,15 ГГц; имеется также возможность плавной подстройки частоты гетеродина. Это позволяет более гибко конверторов, особенно использовать различные ТИПЫ полнодиапазонных.

Основными техническими характеристиками спутникового приемника являются:

- 1. Диапазон входных частот принимаемых сигналов
- 2. Диапазон уровней входных сигналов
- 3. Избирательность по соседним и побочным каналам приема
- 4. Ширина полосы ПЧ аудиоканала
- 5. Ширина полосы ПЧ видеоканала
- 6. Статический порог частотного детектора
- 7. Диапазон звуковой поднесущей
- 8. Потребляемая мощность

Особенность спутникового приемника, по сравнению с другими типами радиоприемных устройств, состоит в том, что он является только приемной установки. При ЭТОМ часть функций выполняется конвертором конструктивно самостоятельным поэтому такие важные технические характеристики приемной установки, как чувствительность коэффициент шума, определяются также характеристиками конвертора.

Спутниковый приемник должен обеспечивать три вида выходного сигнала:

- НЧ видеосигнал размахом 1В с возможностью переключения полярности и сигнал звука для подачи на соответствующие входы телевизора
- АМ-сигнал в стандарте наземного телевидения в одном из каналов дециметрового диапазона
- Полный демодулированный сигнал основной полосы 10,5 МГц без фильтрации и восстановления предыскажений и уровня постоянной составляющей видеосигнала для подключения декодера сигналов, передаваемых в стандарте МАС

В современных приемниках на передней панели оставлены только кнопки включения и изменения номеров каналов на  $\pm 1$ . Остальные органы управления перенесены на пульт дистанционного управления, связанный с приемником оптическим каналом в инфракрасном диапазоне. Выпускаемые

приемники отличаются большим разнообразием способов настроек и регулировок: от полностью ручного до автоматического.

Дополнительно предусматривается целый ряд сервисных функций:

- Запоминание информации предварительной настройки на выбранный канал, частоты поднесущей звукового сопровождения, поляризации сигнала и положения антенны с автоматической фокусировкой
- Цифровая индикация номера канала, частоты, уровня сигнала, времени и др.
- Вывод информации на экранный дисплей
- Предварительное программирование на прием 99—400 программ с основных европейских ИСЗ (Astra, Eutelsat, DFS Kopernikus, TV-Sat, TDF, Olympus, Hot Bird и др.)
- До 20 вариантов фиксированных значений или плавная перестройка в диапазоне 5 9 МГц звуковой поднесущей для приема монофоничоского и стереофонического звукового сопровождения и спутникового радиовещания
- Режим выбора нескольких приоритетных программ (favour program)
- Возможность перепрограммирования начальной установки, редактирования и перевода любых программ в разряд приоритетных

В таком приемнике настройка на заданную программу осуществляется нажатием одной кнопки или от внутреннего таймера.

Управление приемником и всей приемной установкой может осуществляться как в режиме заданных функций путем нажатия в нужной последовательности функциональных клавиш, так и в режиме экранных меню путем перемещения по заданным параметрам, аналогично управлению положением курсора в компьютере.

На задней панели располагаются разъемы для подключения:

- Радиочастотного кабеля от внешнего блока (F-коннектор)
- Антенны эфирного телевидения и антенного входа телевизора (разъем типа IEC)
- Блока декодирования MAC сигналов, входов видеосигнала телевизора и монитора, входов монофонического и стереофонического звукового сопровождения и радиовещания (разъемы типа RCA); видеомагнито-фона, телевизора или видеодекодера (евроразъем типа SCART)
- Цепей управления магнитным или электромеханическим поляризатором и актуатором.

Изменением напряжения питания конвертора 13/18 В производится переключение МШУ, а настройка телевизора на один из каналов дециметрового диапазона осуществляется путем подачи от приемника

тестового сигнала, включаемого переключателем «Тест», и регулировкой частоты несущей модулятора с помощью переменного резистора, выведенного под шлиц. В последних моделях установка частоты модулятора производится программно.

На рис. 5.1 представлена типовая схема аналогового спутникового приемника. Как видно из рисунка, в аналоговом спутниковом приемнике имеются тракты первой и второй промежуточной частоты, низкочастотные каналы изображения и звука, устройство формирования ТВ-радиосигнала и блок управления.

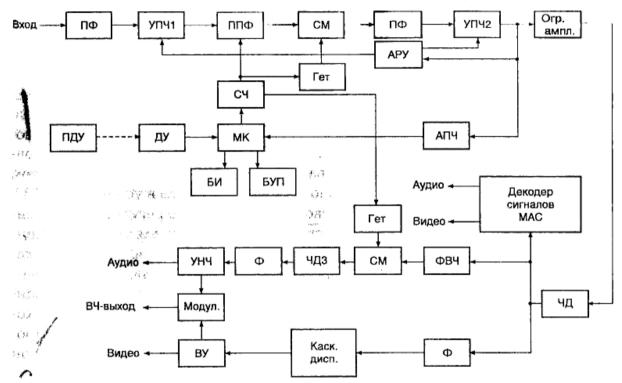


Рисунок 5.1. Типовая схема аналогового спутникового приемника

### Тракт первой промежуточной частоты

Входной фильтр подавляет помехи от других систем, работающих в этой полосе, а также помехи по зеркальному каналу. УПЧ1 компенсирует потери сигнала в соединительном кабеле и фильтре, выполняет функции согласующего устройства между входным фильтром и перестраиваемым полосовым фильтром (ППФ), а также подавляет излучение гетеродина во всей полосе входных частот. Поскольку в полосу пропускания усилителя попадает сразу несколько каналов, то должна быть обеспечена его высокая линейность.

Перестраиваемый полосовой фильтр является преселектором и настраивается на центральную частоту принимаемой программы совместно с гетеродином, подавляя при этом зеркальную частоту. Фильтр пропускает требуемый канал с ослаблением 3 — 5 дБ и подавляет все прочие частоты до —30 дБ.

Сигнал с выхода фильтра подводится к смесителю (СМ), на второй вход которого поступает напряжение перестраиваемого гетеродина (Гет). Смесители выполняются по балансной или двойной балансной схеме на диодах, биполярных или полевых двухзатворных транзисторах. Схемы диодных смесителей характеризуются высокой надежностью, простотой технической реализации, стабильностью характеристик. ограничивающий недостаток, ИΧ применение, наличие потерь преобразования (5 — 7 дБ). Транзисторные преобразователи частоты, несмотря на более сложную схему, обеспечивают преобразование с усилением, что делает их применение более предпочтительным.

Выбор программы в приемнике осуществляется настройкой гетеродина на соответствующую частоту f. Гетеродин должен перестраиваться в широкой полосе частот  $\Delta f = 800 \text{ M}$ Гц и выше (в зависимости от диапазона частот). Относительная частота перестройки гетеродина  $f/f_r$ получается очень большой, что вызывает значительные трудности в реализации этой перестройки, поэтому для уменьшения ее полосы выбирают верхнюю настройку. При диапазоне входных частот 0,95—1,75 ГГц диапазон частот гетеродина лежит в полосе частот  $(950+f_{\Pi Y2})...(1750+f_{\Pi Y2})$  МГц, что случая  $f_{\Pi \Psi 2} = 479,5 M \Gamma Ц$ составляет 1430—2230МГц. Обычно перестраиваемый гетеродин выполняется ПО схеме транзисторного генератора, управляемого по частоте варикапом.

В большинстве конструкций для компенсации «уходов» гетеродинов вводится система автоматической подстройки частоты (АПЧ) второго гетеродина. В этом случае управляющее напряжение подводится в цепь АПЧ.

В современных спутниковых приемниках СНТВ для формирования требуемых частот гетеродина широко используются синтезаторы частоты (СЧ), управляемые специализированным микроконтроллером. Применение СЧ позволяет значительно повысить точность настройки и стабильность частоты гетеродина, обеспечить легкость запоминания частот каналов и сопряжения с цифровыми блоками управления.

# Тракт второй промежуточной частоты

После второго преобразования на выходе смесителя образуется сигнал второй ПЧ, равный, как уже отмечалось, 479,5 МГц. Тракт второй промежуточной частоты обеспечивает формирование полосы пропускания в полосовом фильтре (ПФ), а также дополнительное усиление сигнала в усилителе УПЧ2. В тракт обязательно входит устройство автоматического регулирования усиления (АРУ). Его работа должна быть очень эффективной, для того чтобы приемная установка могла хорошо работать в различных условиях приема, характеризуемых диаметрами приемных антенн, длиной кабеля, соединяющего конвертор с приемником, уровнями сигналов с различных спутников в данной местности, а также для поддержания постоянства уровня сигнала на входе частотного демодулятора в целях

получения неискаженного демодулированного видео- и звукового сигналов. Поэтому динамический диапазон устройства АРУ составляет 25 — 30 дБ.

Тракт ПЧ2 должен иметь полосу пропускания 27 (16—35) МГц и обеспечивать избирательность не менее 40 дБ при расстройке ±38 МГц, соответствующей частоте соседнего канала, и не менее 15—20 дБ при расстройке ±19 МГц, соответствующей частоте соседнего, несовпадающего по поляризации канала. Важным требованием, предъявляемым к тракту ПЧ2, является обеспечение линейности АЧХ и ФЧХ.

В современных приемниках, отличающихся большой степенью интеграции, тракт ПЧ2, как правило, включен в состав выходной части схемы селектора каналов и входной части схемы ЧМ - демодулятора. На частотах до 500 МГц используются фильтры на поверхностно-акустических волнах, свыше 500 МГц —на диэлектрических резонаторах.

#### Ограничитель амплитуды

Прием сигналов с частотной модуляцией может сопровождаться нежелательными изменениями амплитуды сигналов, вызванными либо либо спецификой формирования, В радиоканале помех, распространения и приема полезного сигнала. Устранение паразитной амплитудной модуляции осуществляется с помощью ограничителей амплитуды, включенных до детектора.

Ограничителем амплитуды называется устройство, которое обеспечивает постоянство амплитуды выходного сигнала при изменениях амплитуды входного сигнала. Ограничитель амплитуды представляет собой нелинейное устройство, амплитудная характеристика которого изображена на рис. 5.2, где кривая 1 соответствует идеальному, а кривая 2 ограничителю; U<sub>пор</sub> — порог ограничения. Следует отметить, что величина порога ограничения определяет необходимую величину коэффициента усиления предшествующих каскадов. В общем случае избирательный ограничитель амплитуды го стоит из нелинейного элемента и полосового фильтра, причем полней пропускания последнего должна быть больше ширины спектра сигнала, чтобы ограничитель не искажал закон угловой модуляции.

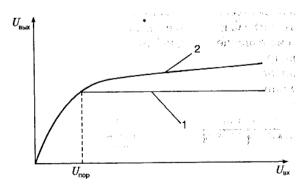


Рисунок 5.2. Амплитудная характеристика ограничителя амплитуды

Рассмотрим типовые схемы ограничителей амплитуды, находившие применение в приемниках СНТВ по мере их развития.

В ограничителе амплитуды на диодах (рис. 5.3) параллельно контуру нагрузки резонансного усилителя подсоединены два встречно включенных диода. Пока амплитуда напряжения сигнала на контуре не превышает напряжения запирания, создаваемого для диода VD1 падением постоянного напряжения на резисторе R1, а для диода VD2 — на резисторе R2, эти диоды закрыты и практически не шунтируют нагрузку усилителя. При амплитуде сигнал, превышающей напряжение запирания, диоды открываются и шунтируют контур, усиление падает, что приводит, в конечном итоге, к ограничению усиливаемого сигнала.

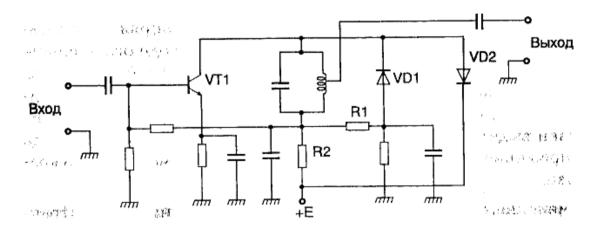


Рисунок 5.3. Ограничитель амплитуды на диодах

Часто на практике средняя величина амплитуды сигнала изменяется в сравнительно широких пределах, и желательно вслед за ее изменениями перемещать порог ограничения  $U_{\text{пор}}$ . В этом случае используют диодный ограничитель амплитуды (рис. 5.4), называемый динамическим подавителем амплитудной модуляции. Здесь последовательно с диодами включены RCпозволяет формировать запирающие напряжения выпрямления полезного сигнала. Постоянная времени RC-цепи выбирается настолько большой, что напряжение запирания остается практически постоянным при паразитной амплитудной модуляции входного сигнала и изменяется ЛИШЬ соответствии с устойчивым увеличением уменьшением средней амплитуды. Из-за постоянства напряжения запирания при изменении амплитуды входного сигнала меняется угол отсечки тока диодов и, следовательно, входная проводимость. Соответственно в такт с изменением уровня сигнала меняется степень шунтирования контура нагрузки.

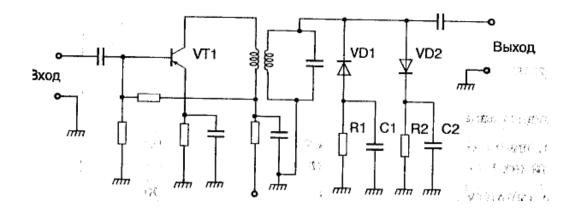


Рисунок 5.4. Ограничитель амплитуды с изменяемым порогом ограничения

Основным недостатком диодных ограничителей амплитуды является то, что, помимо выполнения своих основных функций, ограничитель расширяет полосу пропускания контура и ухудшает его избирательность. От указанного недостатка свободны ограничители на транзисторах, которые в настоящее время находят все большее распространение.

Отличие ограничителя на транзисторе от обычного усилителя состоит в том, что в ограничителе транзистор работает при пониженном напряжении питания коллектора. При увеличении амплитуды сигнала на входе ограничение амплитуды коллекторного тока достигается за счет его отсечки, а также за счет перехода этого тока в область насыщения. Чем больше амплитуда входного переменного напряжения, тем ближе форма выходного тока к меандру. Контур нагрузки выделяет сигнал на основной частоте, причем амплитуда выходного напряжения тем стабильнее, чем стабильнее размах и форма коллекторного тока.

Широкое применение, особенно при интегральном исполнении, нашли транзисторные ограничители амплитуды, выполненные по каскодной схеме ОК — ОБ (рис. 5.5). Если в данной схеме увеличивать положительное напряжение на базе транзистора VT1, то ток, протекающий через него, будет расти.

При этом будет возрастать отрицательное смещение, поступающее из общей эмиттерной цепи на базу транзистора VT2, и ток последнего будет уменьшаться до полного запирания. Если же подавать на базу транзистора VT1 напряжение обратной полярности, то по мере увеличения его абсолютной величин ток транзистора VT1 и отрицательное смещение на базе транзистора VI будут уменьшаться. Ток транзистора VT2 будет возрастать, пока транзистор VT1 не будет заперт, после чего изменение токов прекратится.

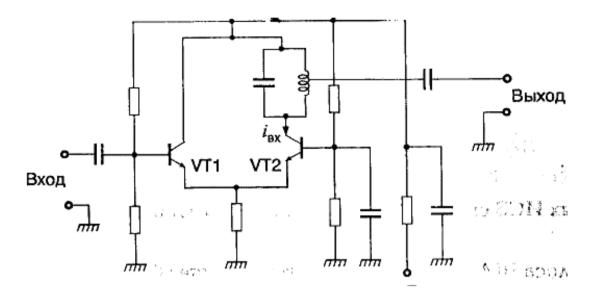


Рисунок 5.5. Транзисторный ограничитель амплитуды

### Частотный демодулятор

Частотный детектор (демодулятор) предназначен для преобразования высокочастотного сигнала, модулированного по частоте, в сигнал, напряжение которого изменяется по закону модуляции.

Все помехоустойчивые виды модуляции (в том числе и ФМ), создающие выигрыш в отношении сигнал/шум, являются пороговыми.

Частотно-модулированный сигнал характеризуется индексом модуляции

$$m = \Delta F/F$$
,

где  $\Delta F$  — девиация несущей частоты; F — частота модулирующего сигнала

Индекс частотной модуляции в отличие от индекса амплитудной модуляции может быть больше единицы. Чем он больше, тем интенсивнее модуляция шире полоса рабочего сигнала.

В целом, для вещательных ИСЗ связи  $\Delta$  F =13,5МГц; F=5,5 МГц; B=27МГц; m=2,5, D=16,5дБ.

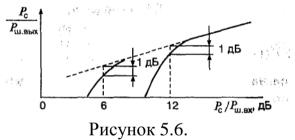
Ясно, что чем больше полоса ЧМ - сигнала в СНТВ, тем больше ЧМ-выигрыш. Однако ЧМ- выигрыш имеет место, если отношение сигнал/шум частотного демодулятора превышает некоторое значение. Это — пороговое значение демодулятора. Если входные сигналы велики, т. е. пороговое значение демодулятора превышается, то телевизионное изображение не имеет помех.

При приближении к порогу проявляются надпороговые и пороговые шумы. Если надпороговый шум проявляется на экране телевизора в виде равномерного муара, а в звуковом сопровождении в виде равномерного шипения, то пороговый шум проявляется в виде ярких белых или черных импульсов и резких щелчков соответственно.

При дальнейшем снижении уровня сигнала выходное отношение сигнал/шум резко уменьшается и имевшаяся линейная зависимость становится нелинейной (рис. 5.6). Та точка, где она снизилась на 1 дБ, и называется порогом. Ниже порога изображение и звук резко ухудшаются. Современные спутниковые приемники характеризуются двумя значениями порога: статическим и динамическим. Статический порог определяется при подаче на вход приемника немодулированной несущей, динамический порог — при модулировании несущей телевизионным сигналом.

Мешающее действие порогового шума на восприятие принятой информации сильнее, чем надпорогового шума, поэтому такие шумы нежелательны даже в те короткие интервалы времени (скажем, в течение 0.1% времени), когда стандарт допускает некоторое уменьшение отношения сигнал/шум.

При детектировании частотно-модулированного сигнала обычно применяют преобразование ЧМ-колебаний в амплитудно- или фазомодулированные сигналы, а затем используют соответствующий тип детектора.



Зависимость выходного отношения сигнал/шум от входного отношения сигнал/шум для двух разных частотных демодуляторов

Классической схемой ЧД является вариант с амплитудным преобразованием частоты. В нем ЧМ- сигнал пропускается через цепь, превращающую частотную модуляцию в амплитудную, и подается на амплитудный детектор. Наиболее часто в качестве преобразующей линейной цепи используется параллельный колебательный контур, отстроенный от центральной частоты ЧМ-сигнала. Линейные участки «скатов» АЧХ такого контура превращают сигнал в амплитудно-модулированный (рис. 5.7, а).

Как видим, при работе на правом скате центральная частота даст выходной сигнал 0,7 (в относительных единицах), нижняя — 0,9 и верхняя — 0,5. Можно использовать и левый скат контура, тогда максимальная амплитуда выходного напряжения будет соответствовать верхней частоте ЧМ-сигнала.

Один колебательный контур не обеспечивает нужной широкополосности, линейности и крутизны преобразования ЧМ-сигнала в АМ. Поэтому чаще используют два расстроенных контура, один из которых инвертирует сигнал. Результирующая АЧХ имеет вид, представленный на рис. 5.7, б. Подбором добротностей и расстроек контуров можно добиться

высокой линейности преобразующей характеристики в широкой полосе частот.

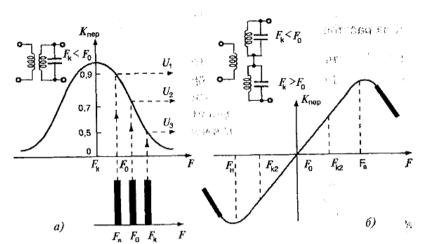


Рисунок 5.7. Преобразование ЧМ - сигнала в АМ: а - на одном скате резонансной кривой контура; б - на расстроенных контурах

Естественно, если девиация входного сигнала слегка превысит частоты  $F_H$  и  $F_B$ , то нарушится линейность преобразования, а при более сильном превышении начнется преобразование и на боковых скатах (показаны жирными линиями).

Балансный ЧД с двумя расстроенными контурами изображен на рис.5.8. Продетектированные диодами сигналы дают на нагрузочных резисторах встречные напряжения, а выходное напряжение является их разностью. Качество работы такого ЧД в значительной степени зависит от симметричности контуров и идентичности диодов, поэтому в спутниковых приемниках эта схема используется мало.

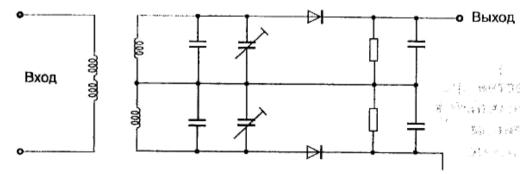


Рисунок 5.8. Балансный ЧД на расстроенных контурах

Частотно-модулированный сигнал можно превратить в фазомодулированный, пропустив его через линию задержки, например, через коаксиальный кабель или последовательный колебательный контур. Если эта задержка невелика, то изменение фазы высокочастотного сигнала на выходе линии задержки относительно фазы на входе совпадает с законом изменения частоты. Используя фазовый детектор, в котором сигнал на входе линии

задержки явится опорным, а задержанный сигнал — информационным, можно осуществить демодуляцию. Пример такого ЧД, называемого частотным дискриминатором, приведен на рис. 5.9.

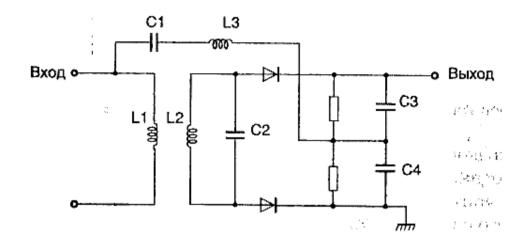


Рисунок 5.9. Частотный дискриминатор

Здесь параллельный колебательный контур L2C2 получает напряжение со входа благодаря индуктивной связи. Это напряжение является информационным. Опорный сигнал подается через последовательный колебательный контур L3C1 со входа в точку соединения резисторов. Оба колебательных контура настроены на центральную частоту.

Если вместо последовательного колебательного контура использовать коаксиальную или микрополосковую линию передачи, то ЧД становится примерно вдвое широкополоснее, а время переходных процессов снижается в 3 — 5 раз. Это крайне важно для детектирования сигналов СНТВ, где модулирующая функция является смесью импульсных и непрерывных сигналов.

Более часто используют схему ЧД, называемую дробным детектором, или детектором отношений (рис. 5.10). От предыдущей она отличается встречным включением диодов и тем, что опорный сигнал вводится между средней точкой индуктивности и общей точкой резисторов с помощью индуктивности. Таким образом, информационный сигнал воздействует на диоды в противофазе, а опорное напряжение — в одинаковой фазе. Конденсаторы C1 и C2 и резисторы R1 и R2 одинаковы. Постоянная времени цепи C3(R1 +R2) выбирается менее 0,1 с. В этом случае сумма продетектированных сигналов всегда постоянна при изменении амплитуды входного напряжения. Выходное напряжение ЧД определяется отношением напряжений, поэтому он и называется деток тором отношений. В нем автоматически осуществляется подавление паразитной амплитудной модуляции. Крутизна АЧХ детектора отношений вдвое ниже, чем детектора на расстроенных контурах.

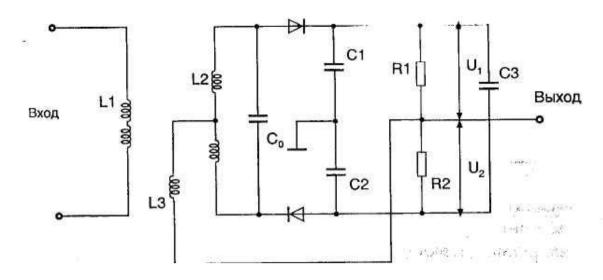


Рисунок 5.10. Частотный дробный детектор

Частотные дискриминаторы и детекторы отношений относятся к векторомерным детекторам, так как результирующее выходное напряжение является векторной суммой продетектированных опорного и информационного сигналов. В связи с технологическими сложностями они редко используются в приемниках СНТВ.

Более часто используют ЧД на базе коммутационных фазовых детекторов, которые легко реализуются на микросхемах и практически не требуют настройки. Рассмотрим квадратурный ЧД, который иногда называется в литературе детектором совпадений.

Квадратурный ЧД обычно выполняют на микросхемах аналоговых перемни жителей и усилителей с дифференциальными каскадами. Опорный и информационный сигналы должны иметь фазовый сдвиг обеспечивается фазосдвигающей цепью на резонансном колебательном контуре либо отрезком коаксиального кабеля. На выходе аналогового перемножителя будут присутствовать два напряжения: напряжение удвоенной частоты и напряжение, пропорциональное фазе сигнала, т. е. модулирующая функция. Схема квадратурного фазового детектора приведена на рис. 5.11.

Наилучшие характеристики по пороговому значению отношения сигнал/шум имеют ЧД, работающие с цепью фазовой автоподстройки частоты, стоящей в канале управления (рис. 5.12). Такие ЧД получили название синхронно-фазовых детекторов (СФД). Принцип работы такого ЧД основан на максимальном приближении условий приема к синхронному (когерентному) приему. Данная схема по существу является следящим фильтром на базе системы фазовой автоподстройки частоты.

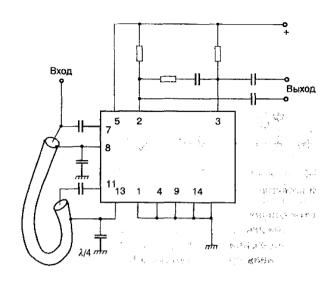


Рисунок 5.11. Квадратурный фазовый детектор на аналоговом перемножителе

Основными функциональными узлами СФД в соответствии со схемой на рис. 5.12 являются фазовый детектор (ФД), фильтр нижних частот (ФНЧ), усилитель (У) и управляемый током или напряжением гетеродин (УГ). Сразу отметим, что управление частотой гетеродина током приводит к более быстрой перестройке, что крайне важно для высокой скорости изменения сигнала. В этом случае частота УГ зависит от величины протекающего через него постоянного тока. Благодаря крайне низкому внутреннему динамическому сопротивлению, обеспечивается быстрое изменение частоты.

Частотно-модулированный сигнал с выхода линейного тракта приемника подается на фазовый детектор, ко второму входу которого подводится напряжение управляемого гетеродина. Цепь регулирования обеспечивает слежение частот гетеродина за частотой полезного сип ила. При соответствующем выборе структуры и параметров цепи регулирования вариации частоты преобразуются в пропорциональные изменения разности фаз между напряжениями сигнала и гетеродина.

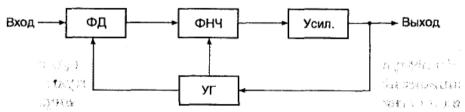


Рисунок 5.12. Структурная схема синхронно-фазового детектора

Соответственно на выходе фазового детектора появляется продетектированный сигнал. Аналогичный результат может быть получен и после детектирования гетеродинного напряжения обычным частотным детектором.

Когда на систему фазовой автоподстройки частоты одновременно с сигналом действует помеха, частота которой отличается от несущей частоты сигнала, на выходе фазового детектора возникают колебания с разностной частотой гетеродина и помехи. Эти колебания подавляются в фильтре нижних частот и практически не влияют на настройку гетеродина.

## Низкочастотный канал изображения

С выхода частотного демодулятора поступают видеосигнал и частотномодулированный звуковой сигнал. Фильтр ( $\Phi$ ) в цепи видеосигнала играет двоякую роль: не пропускает поднесущие частоты звука и восстанавливает AMX видеосигнала, предыскаженную при передаче.

Как уже отмечалось, в широкополосных системах с частотной модуляцией мощность шума на выходе демодулятора повышается с увеличением частоты модуляции по закону, близкому к квадратичному. Это значит, что отношение сигнал/шум для верхних частот видеосигнала и поднесущих звука будет меньше, чем в низкочастотной части спектра. Для выравнивания отношения сигнал/шум по спектру перед модулятором на передающей стороне вводят предыскажения, а в приемной части на выходе демодулятора восстанавливают амплитудно-частотную характеристику модулирующего сигнала.

## Низкочастотный канал звукового сопровождения

К зависимости от принимаемого канала поднесущая звука может находиться и диапазоне 5,5 — 8,5 МГц. Тракт обработки сигналов звукового сопровождения должен иметь полосу пропускания около 300 кГц. При этом трудно обесточить в такой сравнительно широкой полосе перестройки узкополосную фильтрацию звуковых сигналов на фоне мешающих сигналов изображения. То этой причине при демодуляции поднесущей звука обычно с помощью дополнительного преобразователя частоты производится перенос сигнала поднесущей вверх, на частоту 10,7 МГц.

Сигналы канал звука подаются через ФВЧ (см. рис. 5.1), чтобы уменьшить возможность искажения звука высокочастотными составляющими видеосигнала.

Преобразователь частоты (гетеродин и смеситель) переносит звуковые сигналы разных поднесущих на частоту 10,7 МГц. В современных моделях приемников СНТВ в качестве перестраиваемого гетеродина применяют синтезаторы частоты, которые обеспечивают перестройку в диапазоне 16,2 — 18,8 МГц с шагом 20 кГц. Управление и запоминание необходимых частот настройки осуществляются с помощью микропроцессора.

Демодуляция сигнала производится в частотном детекторе звукового сопровождения (ЧДЗ), который также может выполняться в виде СФД.

После демодуляции звуковой сигнал поступает на фильтр (Ф), восстанавливающий введенные на передающей стороне предыскажения

звука. Характеристика предыскажений, согласно принятым международным стандартам, обычно соответствует 50 или 75 мкс.

Далее сигнал звуковой частоты подается на усилитель низкой частоты (УНЧ), где его уровень доводится до стандартного выходного уровня 500 мВ. Для приема стереофонического звукового сопровождения и радиовещания после преобразователя необходимы два идентичных канала обработки.

#### Устройство формирования телевизионного радиосигнала

Сигнал звукового сопровождения и видеосигнал поступают в модулятор, дающий на выходе телевизионный сигнал стандарта наземного телевидения в одном из каналов дециметрового диапазона.

Наличие такого сигнала в приемнике достаточно удобно, особенно в случае необходимости передачи спутниковой программы по кабельной сети. Структурная схема классического варианта модулятора приведена на рис.5.13.

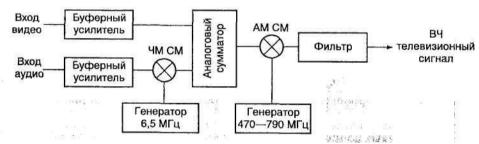


Рисунок 5.13. Структурная схема модулятора

содержит амплитудный модулятор изображения, сигнала перестраиваемый генератор дециметрового диапазона частотный модулятор несущей **ЗВУКОВОГО** сопровождения. Буферные усилители обеспечивают необходимые уровни входных сигналов и их согласование. В частотном модуляторе производится модуляция поднесущей звука сигналом звукового сопровождения, после чего в аналоговом сумматоре происходит смешивание с видеосигналом. Далее полученным сигналом осуществляют амплитудную модуляцию радиочастоты, соответствующую одному каналов ДМВ. Выходной телевизионный радиосигнал поступает на антенный ДМВ-вход телевизора при индивидуальном приеме или в распределительную сеть в системах коллективного пользования.

Необходимо отметить, что в приемных устройствах часто предпочитают делать выходную радиочастоту перестраиваемой, чтобы ее можно было настроить на один из неиспользованных каналов. Иногда модуляторы дополняют генератором тест - сигнала, который используется при первоначальной настройке телевизора.

#### Блок управления

Управление центральной частотой ППФ и гетеродина производится с пульта дистанционного управления (ПДУ), связанного инфракрасным оптическим каналом c системой дистанционного управления (ДУ). Информация параметрах принимаемых программ специализированным микроконтроллером (МК) и отображается блоком индикации (БИ). При вызове номера программы МК автоматически формирует при помощи цифрового синтезатора частоты (СЧ) сигналы частотной настройкой, а с помощью блока управления поляризатором (БУП) управления магнитным сигналы или электромеханическим поляризатором.

При наличии встроенного декодера или позиционера схема приемника содержит дополнительные микроконтроллеры.

# 5.2. Цифровой спутниковый приемник

Начло активного цифрового спутникового телевизионного вещания (Digital Hmadcast Satellite — DBS) относится к середине 1996 г. К этому времени был сформирован ряд цифровых пакетов и началось производство цифровых приемников.

Одними из ключевых вопросов развития DBS являются конструкция, режимы работы и особенно стоимость цифрового приемного оборудования. В настоящее время именно цена и выполняемые функции цифрового спутникового приемника стали определяющими для владельцев цифровых пакетов и фирм — производителей оборудования. Стоимость всех остальных компонентов приемного комплекса — рефлектора, облучателя, конвертора и др. — значительно ниже и практически не влияет на стоимость всего цифрового оборудования.

Напротив, аналоговые спутниковые приемники высокого качества сейчас гораздо более доступны, чем 10— 15 лет назад, прежде всего, благодаря их стандартизации и большим производственным объемам.

Основными факторами, влияющими на стоимость цифровых спутниковых приемников, являются:

- Наличие открытых стандартов
- Универсальность конструкции
- Объем производства
- Конкуренция производителей

Создание и внедрение открытых стандартов, определяющих конструкцию и производство цифровых приемников — только первый шаг для снижения издержек. Без MPEG-2, который стал синонимом всего «цифрового телевизионного», цифровое спутниковое телевидение не

достигло бы настоящего успеха. Однако это только начало, так как во всем мире существуют несовместимые цифровые видеостандарты. Потенциальный успех MPEG-2, DVB и других перспективных стандартов может быть достигнут только при условии их взаимной совместимости.

При создании открытого стандарта становится решаемой проблема производства универсального цифрового приемника, что сделает цифровое вещание более доступным. Существенным недостатком первых версий цифровых приемников является TO, ЧТО ОНИ разрабатывались определенные телепрограмм принимали платные пакеты И не нешифрованные каналы — так называемые Free to Air.

Первой проблему приема этих каналов решила небольшая немецкая фирма Mascom, которая на базе спутникового приемника Media Master фирмы Nokia разработала программное обеспечение и выпустила модель Mascom 9500 S.

То обстоятельство, что конструкция нового приемника была точной копией Media Master, позволило установить модуль условного доступа IRDETO и убедиться, что он, при наличии соответствующей карточки, позволяет принимать пакеты DF1 и Multichoice стран Бенилюкса, а также итальянский пакет DSTV. Поэтому Mascom 9500 может по праву считаться первым приемником, не привязанным к конкретному пакету и претендующим на определенную универсальность. Вскоре после него появились приемники Media Master 9200 и 9500 Free to Air, разработанные фирмой Nokia. Эти модели позволяют принимать, любые свободные каналы и имеют широкие возможности для использования в будущем.

## Схемотехника цифровых спутниковых приемников

Цифровые спутниковые приемники существенно отличаются от аналоговых моделей. Рассмотрим базовую структурную схему, представленную на рис. 5.14.

После того, как выделенный сигнал проходит цепи демодуляции, он преобразуется в информационный поток в виде цифровых пакетов и поступает в устройство исправления ошибок. В демультиплексоре производится разделение информационного потока на два канала: аудио и видео. Декодер поддерживает самые различные форматы и имеет большое количество выходов: цифровое видео, аналоговое видео, цифровое аудио, аналоговое аудио, RGB-выход и др.

Управление работой демультиплексора осуществляет микропроцессор, обрабатывая команды пользователя, переданные через блок управления (пульт дистанционного управления или модуль приемника).

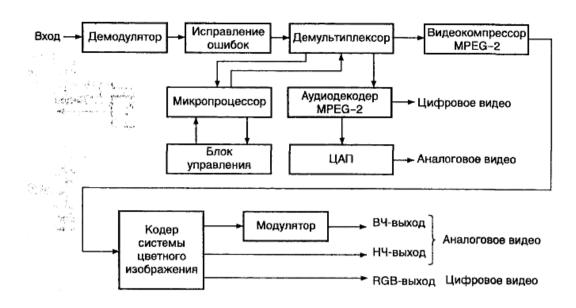


Рисунок 5.14. Обобщенная структурная схема цифрового приемника

В цифровом приемнике нет понятия «плохое качество изображения» — качество картинки на экране телевизора при использовании профессиональной и бытовой аппаратуры одинаково высокое. В том случае, если уровень ошибок превышает предельно допустимый, изображения на экране телевизора просто не будет, так как не смогут работать алгоритмы восстановления.

Конечной целью совместных усилий является создание модульной архитектуры приемника, которая состояла бы из универсальных чипов, применяемых не только в спутниковом телевидении, но и в системах MMDS-вещания, цифровых кабельных сетях и других видах телекоммуникаций. Ключ к успеху модульного подхода лежит в оптимальном разделении субблоков и организации связи между ними при помощи универсального гибкого интерфейса и программного обеспечения.

Цифровые приемники первого поколения имели большое количество чипов, каждый из которых был ответственен за независимые задачи: коррекцию ошибок, демодуляцию, демультиплексирование цифрового потока, обработку данных (центральный процессор), MPEG-2-декодирование видео- и аудиосигналов (рис. 5.15). В этих моделях использовались дорогостоящие динамические оперативные запоминающие устройства (DRAM) с произвольным порядком выборки. Все используемые чипы имели достаточно большие размеры и стоимость (около 55 % стоимости всего устройства). Слабым местом этих конструкций был центральный процессор с 8- или 16-разрядной шиной данных.

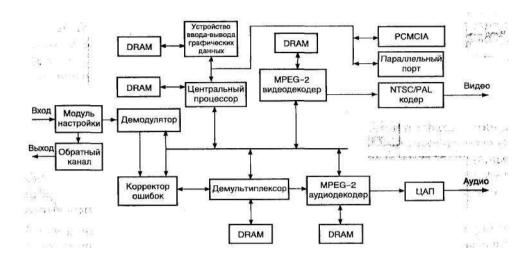


Рисунок 5.15. Структурная схема цифрового приемника первого поколения

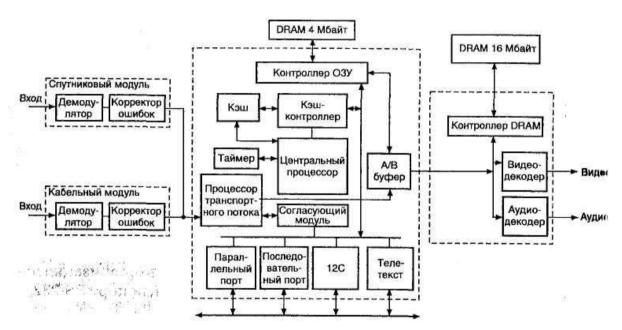


Рисунок 5.16. Структурная схема цифрового приемника второго поколения

(1996r.),Приемники второго поколения были разработаны использованием уже всего трех чипов, которые осуществляют все функции обработки сигнала (рис. 5.15). Дополнительный четвертый чип обеспечивает прием цифровых программ кабельного ТВ. Спутниковый (или кабельный) осуществляет демодуляцию сигнала и коррекцию Центральный процессор встроен в следующий чип, который обеспечивает потоками, информационными дешифровку периферийных устройств памяти. Последний чип содержит MPEG-2 видео- и аудиодекодер. Еще одной особенностью этой конструкции стало уменьшение числа DRAM, а 32-битни центральный процессор имеет более высокое быстродействие.

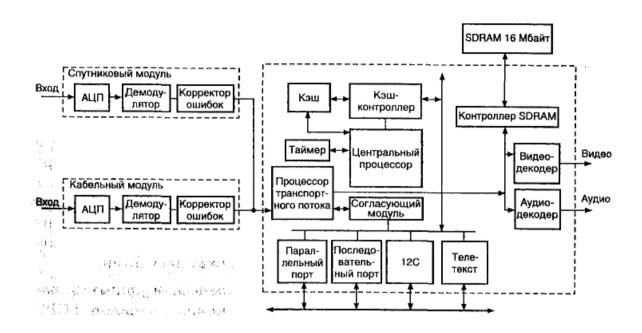


Рисунок 5.17. Структурная схема цифрового приемника третьего поколения

Третье поколение цифровых приемников (1997 г.) основано только на двух чипах (рис. 5.17) Первый модуль выполняет специфические задачи аналого-цифрового преобразования, демодуляции и коррекции ошибок. Объединение следующих двух чипов в один стало отличительной чертой приемника третьего поколения. Он содержит центральный процессор, контроллер ввода—вывода, процессор информационных потоков, MPEG-2 видео- и аудио-декодер. Уменьшено также число модулей оперативной **SDRAM** объемом 16 Мбайт уверенно обслуживает памяти: ОДИН модифицированный чип. Следует добавить, что скорость работы центрального процессора увеличена с 45 до 150 млн. операций в секунду.

Таким образом, в настоящее время типичный цифровой спутниковый приемник выполняет демодуляцию принятого сигнала и декодирование сжатого по технологии MPEG-2 сигнала. Имеется также возможность организации посредством модема обратного канала через последовательный порт RS-232, а минимальный объем оперативной памяти составляет 1 Мбайт. Через этот же разъем можно подключиться к персональному компьютеру и поменять версию программного обеспечения.

#### Технические характеристики цифровых спутниковых приемников

Рассмотрим основные технические характеристики цифровых частот, спутниковых приемников. Кроме традиционного диапазона еще несколько существуют параметров, присущих только цифровым системам.

В первую очередь это относится к возможности осуществлять одноили многопрограммный прием на одной частоте.

- 1. Single Channel Per Carrier (SCPC) способ передачи, при котором каждая программа модулирует отдельную несущую. Этот способ по сравнению с МСРС более энергоемок. Он используется в тех случаях, когда трансляционные точки разных программ географически разнесены. Частотное мультиплексирование таких программ происходит уже в антенно-фидерной линии спутникового бортового ретранслятора.
- 2. Multi Channel Per Carrier (MCPC) передача нескольких разных программ на одной несущей. При этой системе передачи сначала производится временное мультиплексирование элементарных потоков, составляющих разные передачи, а затем полученный групповой транспортный поток модулирует одну несущую. Этот способ передачи позволяет более эффективно, чем при использовании SCPC-передачи, использовать полосу пропускания транспондера, так как упраздняются защитные интервалы между несущими.
- 3. Скорость передачи данных (Symbol Rate SR). В большинстве случаев скорость одиночных каналов (SCPC) колеблется от 3 до 9 Мбит/с, а для пакетов (МСРС) до 30 Мбит/с. Ограничение нижнего предела скорости значениями 15— 18 Мбит/с является одной им причин неспособности некоторых приемников принимать каналы Free To Air, многие из которых передаются поодиночке. Из этого следует, что SR диапазон, воспринимаемый приемником, должен на сегодняшний день составлять 3 30 Мбит/с.
- 4. Важным параметром любого цифрового канала являются PID-коды, которые определяют местонахождение отдельных элементарных потоков в структуре транспортного потока. Информация об этих кодах хранится в таблице, называемой Programm Map Table.
- 5. Program Map Table определяет местонахождение отдельных потоков, составляющих все трансляции, передаваемые в мультиплексированном транспортном потоке. Она содержит также необходимые аудио- и видеопараметры и другую вспомогательную информацию, которая может использоваться для формирования электронного гида, установки часов и т. д. Эта таблица передается в начале транспортного потока вместе с другой служебной информацией.
- 6. Program Identification (PID) код, определяющий местонахождение определенного элементарного потока в общем транспортном потоке.

Наиболее существенный минус такого подхода — неспособность принимать каналы Free To Air, достоинство — некоторая защищенность от приема других платных трансляций. Кроме того, такие приемники требуют доработки программного обеспечения при любом изменении длины элементарных по токов, входящих в состав пакета.

Другими специфическими характеристиками цифрового приемника являются тактовая частота процессора, а также объем оперативной и перепрограммируемой памяти.

Существенным недостатком, присущим многим европейским цифровым приемникам, является их жесткая ориентация на прием со спутников Astra, Eutelsat, Hot Bird. Эта ориентация проявляется таким образом, что в приемниках или просто не предусмотрена возможность занесения в память каналов, передаваемых с других спутников, или можно запомнить только 1 — 2ка нала. В более новых разработках ограничения на прием, связанные с возможностями программного обеспечения, постепенно исчезают и все больше внимания уделяется вопросам скремблирования, организации условной доступа и методам персональной идентификации.

# Организация условного доступа в спутниковых цифровых приемниках

В настоящее время в Европе используется по крайней мере 6 различных систем цифрового скремблирования. Наибольшее распространение получили кодировки lrdeto и Viaccess. Все большую популярность завоевывает приемопередающая аппаратура фирмы Scientific Atlanta Inc., поддерживающая кодировку Power Vu, которая является авторской разработкой этой фирмы. Ряд французских, немецких и испанских каналов передаются в кодировке Seca, в меньшей степени используются кодировки Mediaguard и Cryptowork. Все эти системы совместимы с требованиями DVB-стандартов.

Очевидно, что универсальный цифровой приемник должен уметь работать с любой системой скремблирования. Эта проблема решается несколькими путями. Один из них — создание универсального модуля условного скремблирования доступа, В котором система задается программным путем. Такие модули встраиваются в некоторые современные профессиональные И полупрофессиональные приемники. скремблирования задается в них через недокументированное меню. Однако в силу того, что создавались они для приема совершенно определенных разработчики не склонны афишировать ИХ универсальные возможности своей продукции.

— реализация проекта Другой путь создания общей системы прорабатывается скремблирования, который комиссиями DVB. При использовании такой системы расшифровка программ разных

поставщиков может быть индивидуализирована за счет разных условий доступа. Выполнение этих условий проверяется специальной карточкой условного доступа (smart card). Они передаются в виде двух сообщений в составе таблицы условного доступа (The Conditional Access Table), предусмотренной структурой транспортного потока MPEG-2. Одно из них — Entitlment Control Messages (ECM) — содержит индивидуальные критерии, определяющие возможность доступа к программе, и конкретные параметры, необходимые для начала работы алгоритма. Второе — Entitlment Management Messages (EMM) — содержит критерии для определения права доступа для конкретного пользователя. Такая система позволяет принимать сообщения от разных поставщиков, заменяя smart-card в модуле условного доступа. Однако использование общего алгоритма скремблирования — это вопрос будущего, а сейчас для приема разных пакетов, как правило, требуются разные модули условного доступа. Более того, стандарт DVB предусматривает возможность существования пакета, в котором разные программы скремблированы поразному. Такой тип скремблирования называется Multicrypt.

С этой точки зрения более перспективным кажется использование общего интерфейса, посредством которого к базовому декодеру может подсоединяться один или несколько модулей условного доступа (рис. 5.18). Демодулированный поток данных последовательно проходит все модули условного доступа.

Каждый расшифровывает модуль те элементарные потоки программах пакета, в которых используется соответствующая система скремблироваиия. Ha сегодняшний день идея общего интерфейса реализована на базе стандарта РСМСІА, известного по использованию в портативных компьютерах. В новой версии PCMCIA использованы прежние электрические и механические схемы, но изменен протокол взаимодействия. Структура общего интерфейса позволяет модулю условного доступа взаимодействовать c переферийными модулями декодера (модемом, дисплеем и т. д.). В силу этого он может использоваться для подключения модулей с новыми, пока еще не разработанными функциями.

разработчиков, дальнейшее По прогнозам развитие цифровых приемником связано с увеличением мощности центрального процессора, который сможет управлять сложной 24-битной цветной 3D-графикой, увеличением объема оперативной памяти, применением более скоростного модема в обратном канале, подключением в сеть Internet с возможностью использования спутникового канала для приема данных. Следовательно, цифровой приемник постепенно должен стать домашним интерактивной системы.

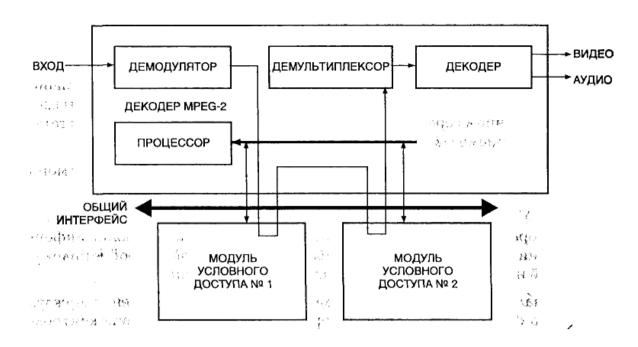


Рисунок 5.18. Организация условного доступа с общим интерфейсом

## Декодер **D2-MAC**

Развитие во всем мире сетей спутникового ТВ привело к широкому использованию в диапазоне 12 ГГц телевизионного стандарта МАС. Среди многих вариантов этой системы наиболее широко используется D2-MAC/Packet.

Как уже отмечалось, декодер сигналов МАС может быть выполнен либо совместно с приемником, либо в виде отдельного функционального устройства. И в последнем случае декодер подключается к приемнику через специализированный выход (разъем типа SCART), на который с частотного детектора подается полный демодулированный сигнал основной полосы 10,5 МГц.

Задача декодирования сигнала D2-MAC более серьезная, чем декодирование сигналов традиционных ТВ-систем с частотным уплотнением, которая решается путем использования цифровых методов обработки.

При этом требуется выполнение следующих основных операций:

- Восстановление тактовых импульсов данных
- Обработка видеосигналов
- Обработка звуковых сигналов и сигналов данных

Иными словами, как и в обычной композитной ТВ-системе, необходимо в реальном масштабе времени выделять из полного сигнала

импульсы строчной и кадровой синхронизации, гасящие синхроимпульсы, сигналы изображения RGB, сигналы телетекста, а также сигналы звукового сопровождения.

Эти сигналы с помощью специального разъема (обычно используется SCART) могут передаваться на соответствующие входы телевизора, а при наличии встроенного декодера D2-MAC — непосредственно на внутренние узлы схемы.

В дополнение к сервисным возможностям обычных стандартов для телезрителя при приеме D2-MAC добавляется:

- Выбор одного из вариантов звукового сопровождения (стерео или моно на том или ином языке)
- Доступ по ключу к каналам платного телевидения
- Интерактивный режим управления путем доступа к служебной информации при помощи дополнительного модуля с клавиатурой и индикацией на экране телевизора или светодиодного дисплея

Кроме каналов обработки аудио- и видеосигналов, декодер должен содержать процессор синхронизации, процессор телетекста, а также микроконтроллер, управляющий взаимодействием отдельных узлов декодера и связанный с внутренней шиной управления телевизором. Следует отметить, что вместе аппаратной частью большую роль в процессе декодирования играет программное обеспечение микроконтроллера.

Структурная схема декодера сигналов стандарта D2-MAC приведена на рис.5.19. Строка входного сигнала МАС разделяется при электронного коммутатора (ЭК1) на видеосигнал и последовательность цифровой символов передачи звука И дискретной информации. составляющей Восстановление постоянной И привязка vровней осуществляются управляемыми схемами фиксации уровней видеосигнала через (ФУВ) данных (ФУД). Видеосигнал восстанавливающий (BK) (предыскажения) контур поступает на аналоги преобразователь (АЦП), осуществляющий выборку и преобразование в цифровой код отсчетов сигналов яркости и цветности, разделяемых с помощью электронного коммутатора (ЭК2). Отсчеты сигналов яркости и цветности записываются в цифровом виде с частотой 20,25 МГц в буферные оперативные запоминающие устройства блоков дескремблирования восстановления (декомпрессирования) сигналов яркости (ДВСЯ) и цветности (ДВСЦ). Восстановление цветоразностных сигналов, передаваемых в четных и нечетных строках, осуществляется электронным коммутатором (ЭКЗ) и интерполирующим фильтром (ИФ).

В аналоговую форму яркостный и цветоразностные сигналы преобразуются при помощи цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП1 — ЦАП3) и фильтров нижних частот (ФНЧ1 — ФНЧ3). Формирование полного видеосигнала и стандарте наземного телевидения осуществляется кодером, а сигналов основных цветов — R, G, B —устройством матрицирования (УМ).

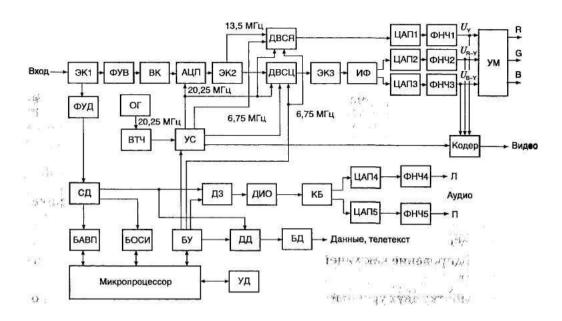


Рисунок 5.19. Структурная схема декодера сигналов стандарта D2-MAC

Восстановление тактовой частоты в демодуляторе осуществляется соответствующим блоком (блок ВТЧ), выполняющим вместе с опорным генератором (ОГ) функции системы тактовой синхронизации. Обычно ВТЧ и ОГ охватываются петлей фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Формирование требуемых частот для декомпрессии видеосигнала, восстановления сигналов синхронизации и синхронизации работы ДВСЯ и ДВСЦ осуществляется устройством синхронизации (УС).

Из последовательности дискретной информации при помощи селектора данных (СД) выделяются адресная часть заголовка пакетов, обрабатываемая блоком адресов и взаимосвязи пакетов (БАВП), служебная информация 625-й строки и пакета с нулевым адресом, обрабатываемая блоком служебной информации (БОСИ).

Дескремблирующая последовательность (ключевое слово) видеосигнала, звука специализированным данных определяется И микропроцессором обработки адресной служебной результате И информации входного сигнала и блока условного доступа (УД). Управление процессом восстановления видеосигнала конфигурацией пакетной И информации звукового сопровождения данных осуществляется посредством блока управления (БУ).

Дескремблирование сигналов звуковой информации и данных осуществляется блоками ДЗ и ДЛ, с выходов которых сигналы поступают в блок помехоустойчивого декодирования и исправления ошибок (ДИО) и буфер данных (БД). Декодированные сигналы звукового сопровождения через канальный буфер (КБ) поступают на ЦАП и ФНЧ левого (Л) и правого (П) каналов.

В заключение необходимо отметить возможность создания многостандартного декодера на основе описанного комплекта, обеспечивающего:

- Прием сигналов стандартов C-MAC, D-MAC И D2-MAC
- Отслеживание формата стандарта МАС, а также до 8 моно- или 4 стереоканалов
- Совместимость с архитектурой любого телевизора
- Управление условиями доступа при скремблировании
- Управление конфигурацией декодера
- Декодирование сигналов телетекста в соответствии со спецификацией EBU
- Поддержку двух форматов экрана 16:9 и 4:3
- Декодирование как линейных, так и комбинированных звуковых сигналов
- Обработку двух уровней защиты от ошибок в звуковом сигнале, включая маскировку ошибки

#### Вопросы для самопроверки

- 1. Что такое спутниковый приемник?
- 2. Какие характеристики являются основными для спутникового приемника?
- 3. Какие дополнительные сервисные функции имеет спутниковый приемник?
- 4. Из каких блоков состоит структурная схема аналогового спутникового приемника? Какие функции выполняет каждый из блоков?
- 5. В чем заключается отличие цифрового спутникового приемника от аналогового?
- 6. Чем отличаются цифровые приемники разных поколений?
- 7. Какие технические характеристики имеет цифровой спутниковый приемник?
- 8. Как осуществляется организация условного доступа с общим интерфейсом?
- 9. Из каких блоков состоит структурная схема декодера D2-MAC? Как осуществляется передача сигнала по схеме?
- 10. Что обеспечивает многостандартный декодер?

## 6. Системы спутникового телевидения.

Спутниковое телевидение, так же как эфирное и кабельное, начинает приобретать все большее значение для жителей России. Спутниковые приемные антенны встречаются уже как на стенах городских многоэтажек, так и на крышах дач и деревенских домов. Это напоминает период 60-х годов, когда каждый владелец телевизора имел собственную антенну. Однако, как показала практика, по многим причинам (финансовым, эстетическим, техническим) более рациональным зачастую является создание системы коллективного приема.

Спутниковое телевидение — это огромное количество телевизионных каналов на любой вкус, это свежие новости ведущих информационных компаний, это спортивные и музыкальные новости и, наконец, это просто качественное, яркое, насыщенное изображение на экранах телевизоров. SMATV — это система спутникового телевидения коллективного пользования, обеспечивающая независимый прием различных каналов с нескольких общих антенн (их число определяется частотным диапазоном и условиями данной местности). При пользовании SMATV ваши расходы по приему программ спутникового телевидения сократятся почти вдвое. На рис. 6.1. хорошо видно, что у абонента сети личным должен быть только собственный спутниковый приемник, затраты же на установку и приобретение антенны делятся на всех.

Абонентов может быть, в зависимости от оборудования, до 50, т. е. одна система может обслуживать, например, один или два подъезда многоэтажного дома, кроме того, по ее сети может распространяться сигнал местного эфирного телевизионного вещания. Абонент получает возможность самостоятельного и независимого выбора программ, транслируемых спутником или спутниками (так как спутниковых антенн может быть две либо с одной антенны могут браться сигналы двух спутников одновременно). Кроме того, есть еще один положительный момент — фасад дома не будет покрыт панцирем из разных по размеру спутниковых антенн, и не нужно ругаться с соседями, и без того не очень избалованными солнечным светом, из-за того, что ваша антенна затеняет их окна.

Существуют жесткие требования, которые предъявляются не только к антенно-фидерному и усилительному оборудованию телевизионных приемных систем, но и к элементам распределительных сетей, обеспечивающих разветвление ТВ-сигнала и деление его энергии.

Основное различие систем коллективного и индивидуального приема телепрограмм связано с требованиями к качеству принимаемого изображения. Так, энергетическая добротность приемных станций систем коллективного приема, как правило, должна составлять не менее 14дБ/К, а отношение сигнал/шум в полосе используемого телевизионного канала — не менее 57 дБ. Это вынуждает применять в составе коллективного приемного комплекса антенны с большим диаметром.

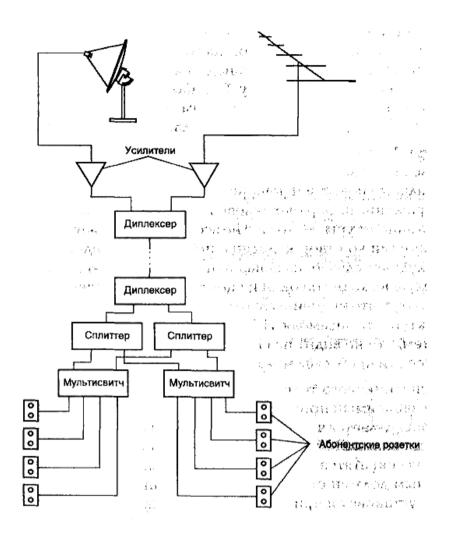


Рисунок 6.1. Типовая распределительная сеть

Основной задачей абонентских ответвителей является распределение мощности ВЧ-сигналов между отводами. Домовые абонентские ответвители должны исключать взаимное влияние телевизионных приемников, создаваемое их гетеродинами, причем, если частоты сигналов гетеродинов или их гармоник не находятся в полосах частот каналов распределительной сети, то возможна развязка между отводами 20 дБ, но для многоканальных приемных сетей она должна быть не менее 40 дБ. Собственные потери ответвителей имеют большое значение, так как в распределительных сетях большое количество их включено последовательно.

B зависимости оборудования приемный OT состава комплекс коллективного пользования может осуществлять прием спутниковых, но и программ эфирного телевидения и ЧМ - радиовещания (5 — 2150 МГц). Для создания такой распределительной системы необходимо большое разнообразных устройств: количество переключателей, диплексеров, сплиттеров, абонентских розеток, усилителей, аттенюаторов, мультисвитчей и др. (см. рис. 6.1.) Корпуса этих устройств выполнены из

экологически чистых материалов и имеют антикоррозийную защиту, что позволяет устанавливать их в нежилых помещениях, на открытом воздухе (при условии защиты от прямого попадания на них воды). Применение таких устройств позволило разработать ряд простых и надежных схем сетей, емкость которых составляет до 50 аналоговых телевизионных каналов. Следует обратить внимание на появившиеся на рынке России подделки (например, продукции WISI), поэтому приобретать пассивные устройства лучше только у официальных представителей.

# 6.1. Оборудование систем коллективного пользования

#### 1. Сумматоры (диплексеры)

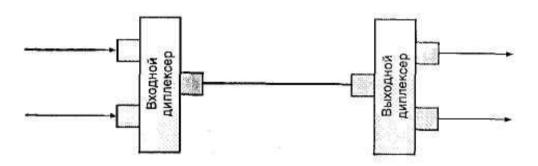


Рисунок 6.2. Включение диплексеров для объединения и разъединения сигналов

Функциональное назначение данных устройств ясно из их названия. Они предназначены для суммирования сигналов различных частотных диапазонов, поступающих от независимых устройств. Например, возможно объединение сигналов спутникового и эфирного телевидения для передачи их по одному общему кабелю, а затем их обратное разделение. На рис. 6.2 представлена схема такого объединения сигналов. Входной диплексер представляет собой сумматор, объединяющий сигналы эфирного (47 - 860 МГц) и спутникового (950 — 2150 МГц) телевидения. По общему коаксиальному кабелю принятые сигналы поступают на выходной диплексер, где происходит их разделение.

Необходимо отметить, любые пассивные что элементы распределительной сети (сумматоры, делители, ответвители) могут использоваться как для суммирования, так и для разделения сигналов. элементов Применение ЭТИХ ограничивается ИХ техническими характеристиками. Необходимо также отметить, что одни диплексеры позволяют подавать через них постоянное напряжение, а другие нет.

#### 2. Сплиттеры (splitters)

Эти устройства, называемые также делителями мощности, разделяют сигнал на два и более каналов (рис. 6.3). Каждая модель сплиттера предназначена для определенного диапазона частот. При делении сигнала, не входящего в его рабочую полосу, затухание увеличивается. Некоторые модели имеют также встроенные полосовые фильтры для подавления частот, лежащих ниже и выше их рабочего диапазона, что позволяет защищать входы коаксиальных кабелей от шумовых помех.

Чем больше количество выходных каналов сплиттера, тем выше потери в нем. При установке сплиттера следует обратить внимание на уровень входного и выходного сигналов, а также на затухание, вносимое коаксиальным кабелем.

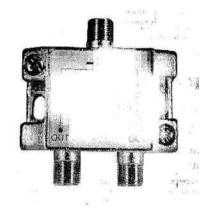


Рисунок 6.3. Сплиттер, фирмы IKUSI с двумя выходами

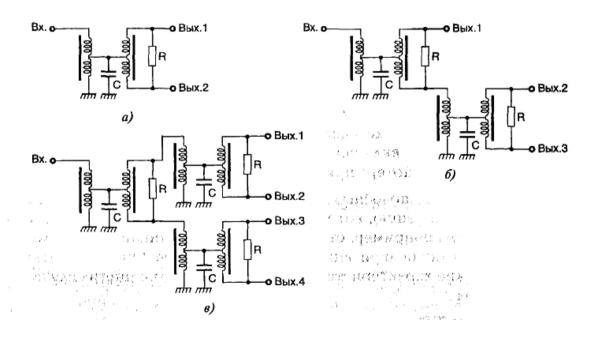


Рисунок 6.4. Типовые принципиальные схемы делителей: а — на два; б — на три; в — на четыре

При проектировании распределительной сети необходимо знать, не требуется ли подача постоянного напряжения, так как некоторые модели сплитеров не позволяют этого делать.

Для компенсации вносимого затухания в состав сплиттера может входить усилитель. Такой сплиттер называется активным.

Принципиальная схема делителя на два представлена на рис. 6.4.а. Он ферритовых сердечников cдвумя отверстиями состоит двух (трансфлюкторов), обмоток, резистора R и конденсатора C. На рис. 6.4, б, в показаны принципиальные схемы делителя на три и четыре соответственно. Из-за несимметричности схемы делитель на три имеет следующую особенность; на одном из выходов вносимые потери в два раза меньше, чем на двух других. Следует обратить внимание на то, что в делителях на четыре развязка между парными выходами примерно в два раза меньше, чем между непарными. В табл. 6.1 представлены величины потерь в различных делителях.

Таблица 6.1. Потери в различных делителях

	' 1 1 ' ' '
Количество выходов сплиттера	Затухание, дБ
2	3,5
3	1х3 и 2х7
4	7
8	10,5
16	14

К последнее время все чаще строят универсальные распределительные сети, работающие в диапазоне 5 — 2150 МГц, что позволяет передавать по ним сигналы как эфирного телевизионного вещания, так и первой промежуточной чистоты спутникового телевидения. Для реализации таких сетей необходимы соответствующие широкополосные устройства.

Особенностью приведенных схем делителей является возможность их использования (при обратном включении) в качестве широкополосных сумматоров. Однако величина потерь при этом не изменяется.

При использовании широкополосных делителей необходима так называемая «диодная развязка» по питанию, которая применяется в цепях питания (от нескольких источников, например, от спутниковых приемников) конверторов, переключателей типа поляризации и других устройств. Она несколько ухудшает электрические характеристики делителей, однако во многих случаях просто необходима.

Зарубежные и отечественные фирмы выпускают широкий ассортимент делителей для спутниковых распределительных сетей. Как правило, такие устройства изготавливаются на основе либо ферритовых элементов, либо кольцевых печатных схем. Кольцевые делители обеспечивают лучшую развязку между выходами и возможность работы с источниками сигналов большой мощности. К их недостаткам можно отнести довольно большую неравномерность амплитудно-частотной характеристики.

Делители для спутниковых распределительных сетей выпускаются как с развязкой по питанию, так и без нее. В некоторых делителях питание подводится только через один выход. Стоимость делителей для спутниковых распределительных сетей сравнима со стоимостью широкополосных делителей.

При практическом использовании пассивных делителей на основе необходимо ферритовых элементов помнить. что ЭТИ приборы предназначены для работы в сетях с низким уровнем мощности. В линии с высоким уровнем мощности (например, после линейного усилителя с выхода более 120 дБ/мкВ) возможно резкое уровнем ухудшение электрических параметров делителя из-за перехода ферритовых элементов в работы (насыщение). Применение нелинейный режим кольцевых делителей или, если это возможно, использование аттенюаторов обеспечивает в этих случаях лучшие результаты.

#### 3. Направленные ответвители (Тар)

Под направленными ответвителями понимают устройства, предназначенные для отвода части энергии сигнала от магистральной линии передачи, причем затухание сигнала в отводе (или отводах) нормируется.

Нормирование затухания необходимо для выравнивания уровней сигналов в любой точке распределительной сети.

Ответвители бывают направленными и ненаправленными. Как правило, направленные ответвители выпускаются с одним, двумя или четырьмя, реже шестью и более отводами. Направленные ответвители имеют четкое обозначение входного и выходных каналов, и подключение возможно только в указанном направлении.

Типовая принципиальная схема направленного ответвителя с одним отводом (одноплечевого) представлена на рис. 6.5. В нем используется высокочастотный трансформатор, выполненный обычно на основе ферритового сердечника. Выбранным коэффициентом трансформации (зависит от количеств витков вторичных обмоток) определяется затухание в отводе. Наиболее типичный ряд вносимых затуханий как для одноплечевых, так и для многоплечевых ответвителей следующий: 6, 8, 10, 14, 18, 20, 25, 30 дБ.

Характерной особенностью всех ответвителей является уменьшение прямых; потерь с ростом величин затухания в отводе.

Многоотводные направленные ответвители, как правило, строятся по схеме одноотводных, с добавлением соответствующих делителей мощности на 2,3,4 и т.д.

На рис. 6.6 представлена схема направленного ответвителя с тремя отводами. На трансформаторе T1 собран одноплечевой ответвитель, а на трансформа торе T2 — делитель мощности на два. Конденсаторы осуществляют необходимую частотную коррекцию.

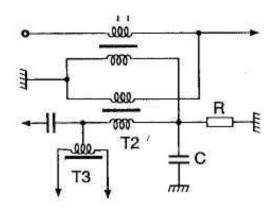


Рисунок 6.5. Принципиальная схема направленного ответвителя с одним отводом

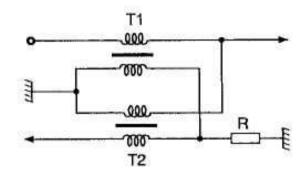


Рисунок 6.6. Принципиальная схема направленного ответвителя с двумя отводами

#### 4. Абонентские розетки

Абонентские розетки являются оконечными распределительными устройствами. Оконечные устройства подключаются к абонентскому кабелю непосредственно или через абонентские розетки (когда абоненту необходимо подключить к одному отводу, например, несколько телевизионных приемников и компьютер). Особенно важен тип подключения абонента, если приемная сеть предоставляет интерактивные услуги.

Розетки могут устанавливаться как в коробки для внешней проводки, так и в ниши для сетей с внутренней проводкой. Абонентские розетки рассчитаны на подключение коаксиальных кабелей с диаметром внешней оболочки до 7,5 мм.

Существует широкая гамма розеток (рис. 6.7) распределительной телевизионной сети, различающихся по конструктивному исполнению (наружные и внутренние), количеству отводов (1—3); назначению (проходные и оконечные), наличию блокировки (с блокировкой и без блокировки постоянного напряжения), а также используемым разъемам.

Различные типы розеток предназначены для работы в разных диапазонах частот:

- 47 860 МГц (TV)
- 47 860 и 87-108 МГц (TV FM)
- 47 860 и 950-150 МГц (TV SAT)
- 47 86; 87 108 и 950-2150 МГц (TV FM SAT)

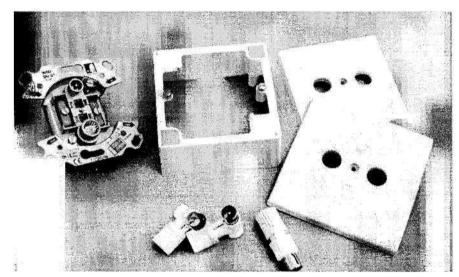


Рисунок 6.7. Абонентская розетка DU07 (WISI) с аксессуарами для внешней и внутренней установки и кабельными разъемами

Необходимо учитывать, что при использовании некоторых абонентских роме ток зарубежного производства невозможно будет просматривать программы 3-, 4- и 5-го каналов метрового диапазона.

Проходные розетки имеют встроенный ответвитель и предназначены дли последовательного включения. Развязка между выходами одной или двух любых абонентских розеток должна быть не менее 22 дБ.

При распределении сигналов в каналах, подверженных воздействию помех от гетеродинов абонентских устройств, подключенных к сети, развязка между выходами одной или двух любых абонентских розеток должна быть не менее 46 дБ.

Отношение сигнал/шум для телевизионного сигнала на выходе любой абонентской розетки должно быть не менее 43 дБ.

#### 5. Аттенюаторы

Эти устройства предназначены для понижения уровня слишком мощного сигнала. Они включаются в кабельную линию через разъемы различных типов, например, F-коннекторы. Аттенюаторы могут обеспечивать компенсацию неравномерности затухания на различных частотах, а также подавать через них постоянное напряжение (рис. 6.8)

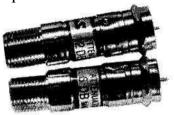


Рисунок 6.8. Аттенюаторы

#### 6. Оконечная нагрузка

Любой выход коллективной телевизионной сети для обеспечения низкого значения коэффициента стоячей волны должен заканчиваться нагрузкой. Поэтому неиспользуемые выходы сплиттеров, диплексеров и других устройств заканчиваются специальной оконечной нагрузкой — сопротивлением 75 Ом (рис. 6.9). Конструктивно она представляет собой разъем, выводы которого закорочены резистором (75 Ом).

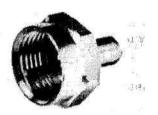


Рисунок 6.9. Оконечная нагрузка

#### 7. Блокиратор постоянного напряжения

Это простое устройство, которое пропускает переменную задерживает постоянную составляющую и ДЛЯ различных изоляции распределительной компонентов сети OT постоянного напряжения. Конструктивно он представляет собой конденсатор, установленный в разъеме (рис. 6.10).



Рисунок 6.10. Блокиратор постоянного напряжения

#### 8. Источник постоянного напряжения (Power Supply/Injectors)

Предназначен для подачи в распределительную сеть постоянного напряжения. Такое устройство может использоваться в больших системах для восстановления уровня постоянной составляющей, питания усилителей, конверторов и других устройств (рис. 6. 1.11).

Двойной источник питания используется при подключении к конвертору' с двумя выходами для переключения поляризации и изоляции конвертора от распределительной сети.

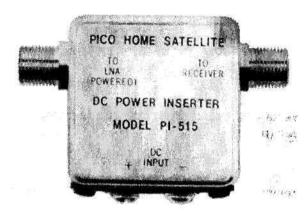


Рисунок 6.11. Источник постоянного напряжения

#### 9. Коммутаторы

Эти устройства предназначены для коммутации различных сигналов. Различают механические и электронные коммутаторы.

Механические переключатели позволяют производить подключение одного из двух входных сигналов. Особенностью их конструкции является значительная развязка между входами (до 90 дБ).

Электронные коммутаторы позволяют производить дистанционное переключение (например, поляризации, диапазонов частот и др.) и различаются по типу исполнительного элемента, в качестве которого могут быть использованы:

- Электромагнитное реле
- PIN-диод
- Транзистор

Комбинированное устройство, в состав которого входит несколько электронных переключателей, называется мультисвитчем (Multiswitch). Различны модели этого устройства представлены на рис. 6.12.

Электромагнитное реле в зависимости от подаваемого напряжения приводит соединение выхода с одним из двух входов. Такие схемы отличают более низкой стоимостью и лучшими техническими характеристиками.

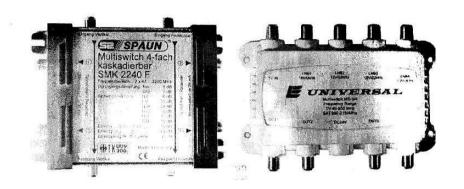


Рисунок 6.12. Мультисвитчи

Применение PIN-диодов в качестве электронных переключателей позволяет пропускать и блокировать передаваемый сигнал. Переключение осуществляется путем изменения постоянного напряжения на p-n переходе, что увеличивает или уменьшает его внутреннее сопротивление.

Основным недостатком мультисвитчей с PIN-диодными переключателями является их чувствительность (особенно в недорогих моделях) к импульсным помехам от молний, электросварки, контактных линий электротранспорт электропередач и др.

В системах коллективного приема практически не используются антенны с поворотным устройством. Для того чтобы абоненты такой сети могли принимать сигналы с двух спутников, существуют модели мультисвитчей, в которых управление осуществляется путем изменения напряжения и подачи специального сигнала частотой 22 кГц. Интерфейс с таким выходом имеют практически все современные спутниковые приемники. Некоторые модели мультисвитчей имеют отдельный вход для подключения эфирной антенны.

#### 10. Усилители

Усилители предназначены для обеспечения требуемого уровня сигнала в конечной точке приема (на выходе абонентской розетки). Они компенсируют затухание сигнала, вносимое коаксиальным кабелем, делителем и другими устройствами.

По функциональному назначению усилители для распределительной сети можно разделить на следующие основные группы:

- Антенные
- Специального назначения
- Магистральные
- Индивидуального пользования

Антенные усилители предназначены для усиления слабых сигналов, поступающих с антенны (или нескольких антенн). Основное требование, предъявляемое к антенным усилителям, — обеспечение минимального коэффициента шума с целью максимизации отношения сигнал/шум на выходе.

Шумовая температура антенны зависит от частоты принимаемого канала. Для некоторых каналов на рис. 6.13 представлены расчетные зависимости отношения сигнал/шум на выходе антенного усилителя как функции его коэффициента шума. Анализ этих зависимостей показывает, что включение малошумящего антенного усилителя в диапазонах МВ I, II нецелесообразно, так как это не приносит ощутимого выигрыша в отношении сигнал/шум Включение же малошумящих антенных усилителей в диапазонах ДМВ очень нежелательно, потому что они позволяют значительно повысить это отношение.

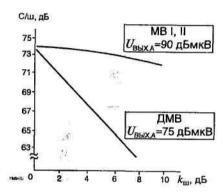


Рисунок 6.13. Зависимость отношения сигнал/ шум на выходе антенного усилителя от его коэффициента шума

В зависимости от назначения распределительной сети и ее класса в ней могут быть установлены канальные или диапазонные антенные усилители.

Канальные усилители имеют преимущество перед диапазонными в связи с меньшим значением их коэффициента шума и доступностью выравнивания амплитуд каналов по диапазонам. В диапазонных антенных усилителях на входе устанавливается реактивный диапазонный сумматор (частотный диплексер), позволяющий подключать к усилителю несколько диапазонных антенн (обычно МВ, І,ІІ,ІІІ, FМ и ДМВ).

Как правило, антенные усилители устанавливаются непосредственной близости от антенны (поэтому их часто называют мачтовыми). Это необходимо для уменьшения влияния потерь в кабеле и, как следствие, реализации HOM ОНЖОМ большего выходного отношения сигнал/шум. Антенные усилители имеют влагозащитное исполнение и внешнее питание, подаваемое по центральной жиле кабеля.

Основная функция дистрибьютерного усилителя — достижение максимального уровня выходного напряжения, достаточного для полной телефикации, как правило, одного объекта (например, жилого дома).

Линейный усилитель — это усилитель, предназначенный для компенсации затухания в линейном тракте и коррекции АЧХ линии. К линейным усилителям предъявляется требование обеспечить значительный коэффициент: передачи при максимально достижимом динамическом диапазоне. Линейные усилители могут иметь в своем составе и устройство

усиления (APY),автоматической регулирования поддерживающее напряжения постоянный уровень выходного при воздействии дестабилизирующих факторов (изменения питающего напряжения, влажности, давления, температуры окружающей среды и т. д.).

Транкинговые усилители дополнительно имеют в своем составе системные и кабельные эквалайзеры, пассивный или активный обратный канал (с обязательным полным набором всех аксессуаров), тестовые контрольные точки, фиксированные И переменные аттенюаторы. Непременным условием является возможность подключения дополнительных линейных и дистрибьютерных усилителей. Транкинговые усилители целесообразно включат в тех местах больших распределительных сетей, где организуются дополнительные субмагистрали.

Ко всем магистральным усилителям, как правило, предъявляются такие требования, как повышенная пылевлагозащищенность, возможность дистанционного питания переменным напряжением 25—65В, наличие активного обратного канала и встроенных аттенюатора и эквалайзера. С помощью активного обратного канала (5—30 МГц) можно формировать так называемые интерактивные кабельные сети, предназначенные для расширения функциональных возможностей системы без прокладки дополнительных проводов.

Питание усилителя может осуществляться от источника постоянного напряжения прямо по коаксиальному кабелю, или от сети переменного тока. Большинство таких устройств работают в диапазоне первой ПЧ конвертора (950-2150 МГц) и устанавливаются между выходом конвертора и входом приемника.

Основными техническими характеристиками линейного усилителя являются:

- Диапазон частот
- Коэффициент усиления
- Коэффициент шума
- Коэффициент интермодуляционных искажений
- Коэффициент стоячей волны

Некоторые типы усилителей, предназначенные для компенсации затухания кабельной линии, имеют неравномерную АЧХ. Как известно, с повышением частоты потери сигнала в коаксиальном кабеле увеличиваются. Поэтому для обеспечения необходимого уровня сигнала в заданном диапазоне частот такие усилители имеют больший коэффициент усиления в верхней части рабочего диапазона.

Применение усилителей должно осуществляться с известной долей осторожности, так как они являются дополнительным источником шумовых помех. Лучше использовать коаксиальный кабель и другие компоненты с меньшим затуханием, чем устанавливать усилители.

# 6.2. Распределительные сети коллективного приема малой емкости

Для обеспечения приема спутниковых телевизионных программ сравнительно небольшим числом абонентов необходимы распределительные сети малой емкости, в которых используется специальный комплект радиотехнического оборудования. Наиболее часто на практике встречается построение сетей, обеспечивающее прием как эфирных, так и спутниковых программ. Это осуществляется, во избежание помех между спутниковыми и эфирными каналами, с помощью специального переключателя или канального сумматора.

Рассмотрим некоторые варианты построения распределительных сетей коллективного приема спутниковых и эфирных телевизионных программ.

#### Распределительная сеть с одним спутниковым приемником

Высокочастотный сигнал ( $950 - 2150 \text{ M}\Gamma\text{ц}$ ) с выхода конвертора (рис. 6.14) по коаксиальному кабелю подается на вход спутникового приемника.

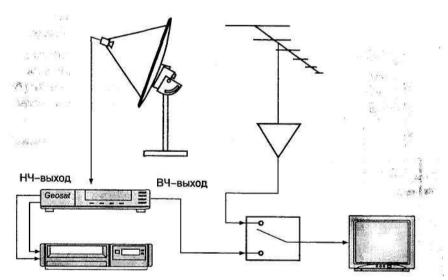


Рисунок 6.14. Распределительная сеть с одним спутниковым приемником

По этому же кабелю в конвертор поступают сигналы для управления работой поляризатора. С выхода приемника сигнал можно подавать либо непосредственно, либо через коммутатор на НЧ - вход телевизора. Предусмотрено гак же подключение к приемнику видеомагнитофона. При подключении телевизора к широкодиапазонной антенне метрового или дециметрового диапазона необходимо соблюдать определенные требования к уровню сигнала. Если сигнал передается от удаленного источника или применяются кабели большой длины, необходимо использовать антенный усилитель.

#### Распределительная сеть с дальнейшей ретрансляцией

Такое построение распределительной сети может быть рекомендовано для локальной сети телевизионного вещания (рис. 6.15).

Принятый спутниковым приемником сигнал телевизионного вещания подается в модулятор. С выхода модулятора сигнал поступает либо на встроенную антенну, либо на внешнюю, установленную на крыше дома. В последнем случае модулятор, как правило, усиливают в усилителе распределительной сети. При уровне сигнала на выходе усилителя 50 дБмВ сигнал с внешней антенны можно принять простой комнатной антенной на расстоянии до 100 м. Это, в частности, позволяет не прокладывать длинные коаксиальные кабельные линии.

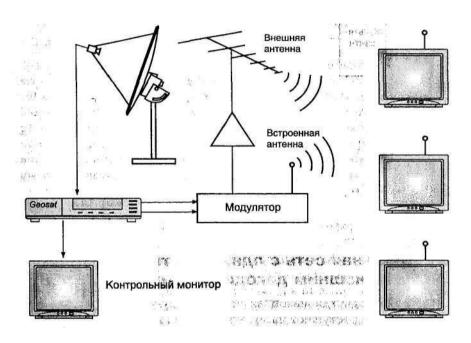


Рисунок 6.15. Распределительная сеть с дальнейшей ретрансляцией

## Распределительная сеть с одним спутниковым приемником и двумя антеннами для работы в двух диапазонах

С выходов конверторов (рис. 6.16) двух антенн, работающих соответственно л диапазонах 3,7 — 4,2 и 10,70 — 12,75 ГГц, сигналы по коаксиальным кабелям подаются на мультисвитч. По этому же кабелю в конвертор поступают сигналы для управления работой поляризатора. Это позволяет принимать программы, передаваемые в С- и Ки-диапазонах. Заметим, что любая антенна может использоваться одновременно для двух диапазонов волн. Для этого следует разместить один облучатель в ее фокусе, а другой сместить относительно него.

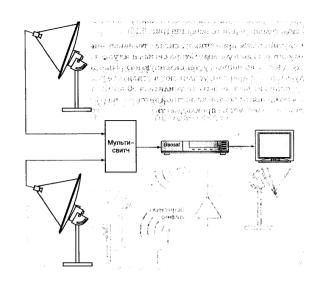


Рисунок 6.16. Распределительная сеть с одним спутниковым приемником и двумя антеннами для работы в двух диапазонах

## Распределительная сеть с одним спутниковым приемником и внешним декодирующим устройством

В системе используется двухдиапазонная антенна cдвумя конверторами, сигналы с выхода которых поступают на мультисвитч, на него же по общему коаксиальному кабелю подаются сигналы управления (рис. 6.17). В результате на приемник подаются сигналы С- и Ки-диапазонов. В данной схеме предусмотрено декодирование сигнала внешним декодером на промежуточной частоте. этой целью широкополосный недемодулированный сигнал ПЧ подается в декодер. К выходу декодера подключается телевизор. Если в системе предусмотрен позиционер, то сигналы управления подаются на него с приемника по специальной соединительной линии.

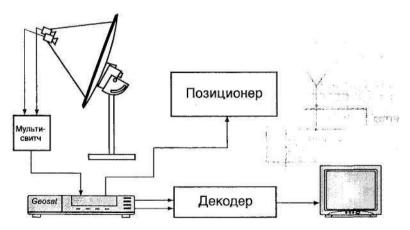


Рисунок 6.17. Распределительная сеть с одним спутниковым приемником и внешним декодирующим устройством

#### Распределительная сеть с одной антенной на два абонента

Для обеспечения работы с одной антенны двух приемников часто применяют сплиттеры различных вариантов исполнения. Одно направление сплиттера заблокировано для прохождения постоянного напряжения (рис. 6.18). Поэтому напряжение питания подается только от второго приемного устройства. При таком построении только с него можно осуществить выбор поляризации (горизонтальной или вертикальной, круговой левой или правой) К подобным распределительным сетям может быть подключено и большее количество абонентов. Для ЭТОГО требуется лишь **у**величить сплиттеров использовать линейный усилитель И ДЛЯ компенсации неизбежных потерь сигнала.

Основным недостатком схемы, представленной на рис. 6.18, является невозможность управления поляризацией каждым из абонентов. Однако этот недостаток можно устранить, если соединить оборудование по схеме, приведенной на рис. 6.19. Принятый антенной сигнал проходит через устройство разделения поляризации (ортомод), к выходу которого подключаются два конвертора: один для вертикальной, а второй для горизонтальной поляризации. Использование двух сплиттеров с блокировкой постоянного напряжения обеспечивает прием двумя абонентами сигналов вертикальной и горизонтальной поляризации. Особенностью такого построения является необходимость двух входов в приемном устройстве.

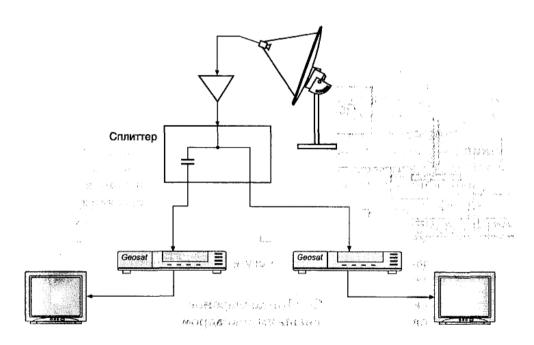


Рисунок 6.18. Распределительная сеть с одной антенной на два абонента

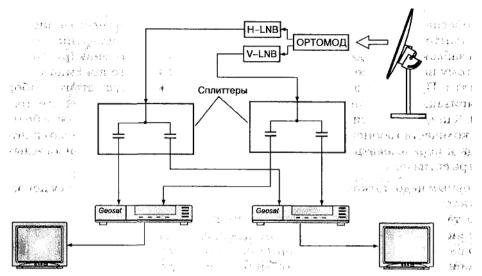


Рисунок 6.19. Распределительная сеть с одной антенной с использованием ортомода и двух сплиттеров

Наиболее простым схемным решением для организации работы двух приемников с одной антенной является применение конвертора, в котором имеются два (или четыре) выхода (рис. 6.20). В этом случае каждый абонент может осуществлять выбор вида поляризации независимо от других.

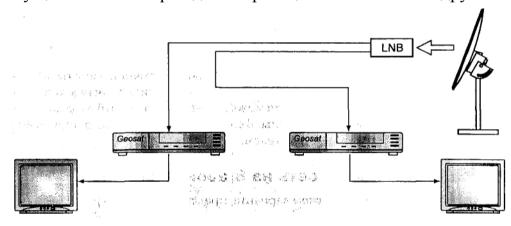


Рисунок 6.20. Распределительная сеть с одной антенной на два абонента с использованием двухвыходного конвертора

# Распределительная сеть на 4 абонента

Сеть включает в себя спутниковую антенну, в фокусе рефлектора которой установлены облучатель и ортомод (разделитель поляризации) (рис. 6.21). К выходным волноводам ортомода крепятся дна конвертора, соединенные коаксиальным кабелем с мультисвитчем. К выходам мультисвитча подключаются абонентские розетки. Ортомод производит разделение сигналов с ортогональными поляризациями, а конвертор осуществляет их усиление и понижение частоты, а также усиление сигнала

промежуточной частоты. Мультисвитч позволяет подавать на вход любого из приемников сигнал каждого конвертора. Кроме того, мультисвитч может иметь специальный вход для подключения обычной эфирной антенны. В случае необходимости, эфирная антенна может быть оснащена усилителем.

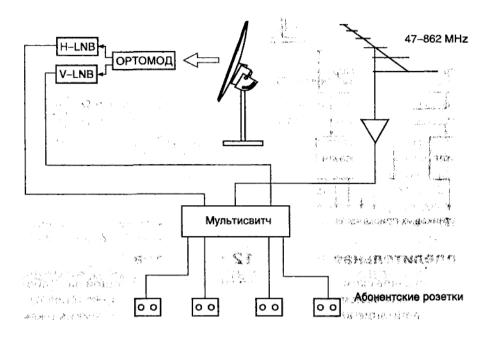


Рисунок 6.21. Распределительная сеть на 4 абонента

#### Распределительная сеть на 8 абонентов

Данная схема является развитием варианта, представленного на рис. 6.21. Если выходы сплиттеров подключить к двум мультисвитчам, каждый из которых имеет по 4 выхода, то появляется возможность подключения восьми абонентов (рис. 6.22). Выбор канала с необходимой поляризацией осуществляется с каждого приемника путем управления мультисвитчем.

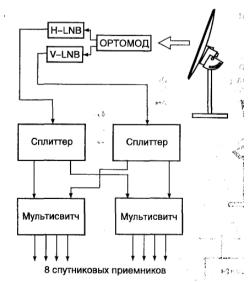


Рисунок 6.22. Распределительная сеть на восемь абонентов

### Распределительная сеть на 12 абонентов

На рис. 6.23 показана схема более сложной системы, рассчитанной на 12 абонентов. В этой системе используются мультисвитчи двух типов — оконечные и проходные, а питание конверторов осуществляется не от приемника, как обычно, а от специального усилителя.

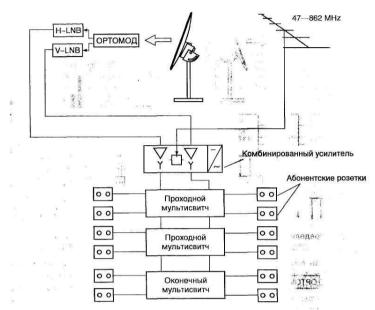


Рисунок 6.23. Распределительная сеть на 12 абонентов Распределительная сеть на основе головной станции

В тех случаях, когда число абонентов сети несколько десятков и более, целесообразно строить сеть по варианту, представленному на рис. 6.24, по которому, собственно, сейчас строятся сети коллективного приема эфирного ТВ.

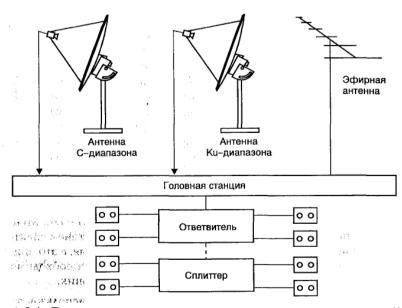


Рисунок 6.24. Распределительная сеть на основе головной станции

В этом случае сигналы с выходов конверторов поступают не на абонентские розетки, а на специальную головную станцию. Головная станция представляет собой фактически многоканальный тюнер, осуществляющий перепек спектра полного ТВ-сигнала каждого канала из диапазона частот 950 — 2150 МГц в дециметровый диапазон. Принимать такие сигналы можно уже обычным телевизором, имеющим вход ДМВ. При этом каждый абонент может смотреть любую из транслируемых в кабельную сеть программ независимо от других абонентов.

В качестве примера рассмотрим возможности спутниковой приемной станции WISI серии SAT-KOMPAKT, которая подходит для приема и распределения программ спутникового и эфирного телевидения, а также радиовещания в магазинах, офисах, коттеджах — везде, где целесообразно устанавливать недорогую, высококачественную спутниковую приемную станцию.

Приемная станция состоит из 5 модулей, каждый из которых представляет собой спутниковый приемник и модулятор, который можно переключать на выбранный канал метрового или дециметрового диапазона. Станция имеет 6 независимых входов, причем 5 из них для диапазона 950 — 2050 МГц и один для каскадирования станций и приема программ эфирного телевидения. Имеются разъемы для подключения декодеров при приеме кодированных про грамм. Входные и выходные параметры устанавливаются с клавиатуры и отображаются 4-разрядным светодиодным индикатором, расположенным ни передней панели приемной станции.

Станции серии SAT-KOMPAKT позволяют осуществлять трансляцию до 40 телевизионных каналов (20 VHF и 20 UHF) в диапазоне частот 47 — 862 МГц. Нельзя использовать соседние каналы, T. К. В связи с взаимодействием спектральных составляющих возникать будут перекрестные искажения, a ЭТО приводит К ухудшению качества изображения. Для его повышения необходимо работать «через канал», для чего в станции имеется фильтр гармоник.

Для ввода программ эфирного телевидения в станцию необходимо использовать дополнительный усилитель, например, WISIVS80, который имеет 5 входов для подключения эфирных антенн и плавную регулировку входных сигналов.

На выходе станции SAT-KOMPAKT формируется суммарный сигнал, который может содержать, помимо спутниковых программ, программы эфирного телевидения.

## 6.3. Российские системы спутникового телевидения

Одной из первых стран, начавших использование спутникового телевидения, был Советский Союз. Для трансляции программ центрального телевидения в отдельные населенные пункты, в первую очередь, па азиатской части территории пашей страны, в 1967 г. была создана система спутниковой связи "Орбита". Первые станции этой системы строились в наиболее отдаленных и труднодоступных районах СССР — Владивостоке, Магадане, Якутске и др.

К середине 70-х годов передающая сеть телевизионного вещания страны смогла обеспечить прием программ телевидения практически во всех крупных административных центрах и в районах с высокой плотностью населения. Для передачи сигналов телевизионных программ па мощные радиостанции и ретрансляторы в зависимости от их географического местонахождения использовались радиорелейные, кабельные и спутниковые Дальнейшее развитие сети телевизионного уже не могло вестись традиционными средствами и требовало разработки новых технических решений, учитывающих особенности страны, которые, в первую очередь, определяются огромными размерами территории (более 22,4 MЛH.KM<sup>2</sup>), многонациональным составом страны, и чередованием районов с высокой и низкой плотностью населения и рядом других факторов.

В связи с тем, что Москва расположена в самом западном из 11 географических часовых поясов страны, создаются дополнительные трудности в формировании и распределении сигналов телевизионных программ. Требование передачи телезрителям программ в удобное для просмотра время вынуждает не только использовать большое число каналов передачи программ в каждый часовой пояс, но и формировать последние с опережением относительно времени их показа в Москве. В связи с этим требовалось решить ряд организационных и технических задач, в том числе:

- определить оптимальное количество часовых поясов, число и вид программ, которые должны в них распределяться;
- создавать новые технические средства, предназначенные для наиболее эффективного распределения и трансляции программ в каждом из поясов с учетом их географических и демографических особенностей.

Так как одну и ту же телевизионную программу допустимо транслировать не более, чем в двух часовых поясах одновременно, территория страны была разбита на пять зон вещания (рис. 6.25) с востока на запад: зона А—часовые пояса (время отсчитывается относительно московского, принятого за 0 ч) +8, +9, +10 ч; зона Б— +6, +7 ч; зона В— +4, +5 ч; зона  $\Gamma$  - +3, +2 ч; зона M - 0, +1 ч.

Перечисленные задачи начали решаться в 1975—1980 г.г. Например, был осуществлен постоянный переход от трех - зонового распределения первой программы центрального телевидения к четырех-, а затем и к пятизо - новому. В 1980 г. началось вещание второй программы центрального телевидения в двух зонах.

Для дальнейшего увеличения охвата населения и территории страны телевизионным вещанием были разработаны принципиально новые технические средства распределения программ, которые могут обеспечивать телевидением небольшие и отдаленные населенные пункты.

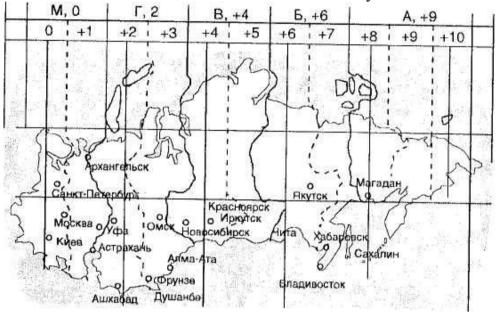


Рисунок 6.25. Временные пояса и зоны ТВ вещания

Первым шагом в этом направлении явилась разработка спутниковой системы "Экран", приемные станции которой почти па два порядка дешевле, чем станции "Орбита". Экспериментальная проверка системы началась в октябре 1976 г.

В 1979г. началось внедрение другой спутниковой системы для распределения сигналов телевизионных программ — системы "Москва", что позволило упростить и удешевить антенную систему и перейти от антенн с диаметром 12м к антеннам диаметром 2,5м. Для работников загранучреждений в конце 80-х годов начала работать система "Москва-Глобальная".

## Система «Орбита»

Как уже отмечалось, "Орбита" стала первой системой спутникового телевизионного вещания. Первые 20 наземных станций этой системы были сооружены в наиболее труднодоступных и отдельных городах СССР и введены в действие 2 ноября 1967 года. Это дало возможность смотреть передачи из Москвы более 20 млн. телезрителей в Хабаровске, Владивостоке,

Норильске, Магадане, Ашхабаде, па Сахалине и в других отдаленных районах.

Передача телевизионного сигнала осуществлялась при помощи ИСЗ "Молния-1". Период его обращения составлял 12 ч, плоскость орбиты наклонена относительно плоскости земного экватора па 63,4°, высота перигея 500 км, апогея — 40000 км. Обслуживание всей территории страны одним КА ,было возможно в течении 8 часов в сутки. Поэтому для обеспечения круглосуточной ретрансляции необходимо 3 КА.

Спутники "Молния-1" работали в диапазоне частот 800— 1000 МГц. В 1971 году был запущен спутник "Молния-2", выведенный на ту же орбиту, что и "Молпия-1", но работающий в международном спутниковом диапазоне частот 4 — 6 ГГц. Соответственно этому диапазону были переоборудованы все наземные станции "Орбита" и создана новая усовершенствованная станция "Орбита-2".

Наземная приемная станция системы "Орбита" — сложное и дорогое сооружение. Она располагается в круглом железобетонном здании, которое одновременно служит основанием антенной системы с параболлическим отражателем диаметром 12 м. В центральном зале станции находится вся приемная аппаратура и приборы наведения антенн па спутник. Антенна установлена на поворотном опорном устройстве. В связи с непрерывным движением спутника относительно приемной станции, антенна должна постоянно перемещаться, обеспечивая ориентацию на КА. Для этого она укомплектована устройством программного и ручного управления, а также комплексом автоматического наведения по максимуму принимаемого сигнала. Приемное устройство для улучшения чувствительности содержит малошумящие охлаждаемые жидким азотом параметрические усилители, блоки усиления и преобразования сигналов изображения с частотной модуляцией амплитудно-моулированные, блоки регенерации В синхросигнала, системы подавления помех и искажений. Кроме того, имеется аппаратура для приема с КА сигналов звукового радиовещания и полос газет для типографий.

В процессе эксплуатации дорогостоящие охлаждаемые параметрические усилители были заменены на прохлаждаемые, а затем па транзисторные. Почти все блоки устройства продублированы и снабжены системами переключения автоматического контроля И на резерв. Выходные сигналы системы "Орбита" передаются к местному телевизионные телевизионному передатчику, который обеспечивает ретрансляцию принятой телевизионной программы индивидуальным потребителям.

К 1982 г. работало 90 станций "Орбита". Их использование целесообразно для трансляции телевизионных программ в крупные населенные пункты. Строительство же таких станций в населенных пунктах с населением в несколько тысяч человек экономически невыгодно. В этих условиях необходимы более простые и дешевые системы. По мере внедрения новых, более экономичных систем, загрузка системы "Орбита" постоянно снижалась, строительство новых станций было признано нецелесообразным.

В настоящее время "Орбита" функционирует в качестве резервной системы. Основной она является только в вещательном поясе А, где из-за аварии при запуске спутника "Горизонт", планировавшегося к выводу в точку 145° в.д., до сих нор не передается российская программа по системе "Москва".

Большинство приемных станций "Орбита" переоборудованы в приемопередающие и используются, в основном, для магистральной и зоновой связи. Использование их в качестве только приемных стало экономически невыгодным и там, где они не используются для связи, их выводят из эксплуатации и консервируют.

### Система «Экран»

Для обеспечения малонаселенных районов телевизионным вещанием необходимы более простые и дешевые наземные приемные станции. Для достижения этой цели необходимо использовать передатчик спутникового ретранслятора повышенной мощности, что позволяет упростить приемное устройство и использовать КА, находящийся па геостационарной орбите. Это исключает необходимость непрерывного слежения приемной антенной за КА.

Такой повой системой спутникового телевидения стала система "Экран", созданная в СССР в 1976г. Первый спутник этой системы был запущен на геостационарную орбиту 26 октября 1976г. в точку с координатами 0° и 99<sup>0</sup>в.д. Зона обслуживания площадью около 9 млн. км<sup>2</sup> (почти 40% территории СССР) охватила районы Сибири, Крайнего Севера, и частично Дальнего Востока.

Для ретрансляции телевизионного сигнала использовалась полоса частот 702 — 726 МГц, что соответствует 52 — 54 телевизионным каналам. Основным недостатком данной системы, была - слишком большая зона обслуживания, которая покрывала 4 часовых пояса страны. Получилось так, что значительное число телезрителей смотрели передачи с временным сдвигом. А это крайне неудобно. К 1989г. эта проблема была решена модернизированной системой "Экран-М". В отличие от предыдущей, она имеет не один, а два ствола с одинаковыми зонами обслуживания. Мощность каждого передатчика составляет 200 Вт. Каждый ствол спутника работает со сдвигом па 6 часов и па 4 часа относительно московского времени. Для второго ствола использовалась центральная частота 755 МГц (57-59 ТВ каналы).

Для приема ретранслированного спутником сигнала используются приемные устройства I и II класса.

Приемные устройства I класса повышенного качества и надежности предназначены для передачи программы к передатчикам большой и средней мощности (мощные наземные ретрансляторы и местные телецентры). Комплектуются антеннами тин "Волновой канал", содержащими 32 полотна.

Приемные устройства II класса представляют собой упрощенные приемники частотно-модулированных сигналов и предназначены для преобразования этих сигналов в стандартный "телевизионный сигнал с амплитудной модуляцией несущей изображения и частотной модуляцией несущей звука. Эти устройства предназначены для передачи программ либо к местным ретрансляторам малой мощности, либо непосредственно к телевизионному приемнику. Комплектуются антеннами из четырех полотен.

Существует несколько вариантов приемных устройств ІІ класса.

- "Экран-КР-10". Предназначен для обслуживания цветным телевизионным вещанием крупных поселков путем формирования стандартного телевизионного сигнала мощностью 10 Вт па частоте одного из метровых каналов с излучением сигнала в эфир. Радиус действия составляет 6 7км.
- "Экрап-КР-1". Отличается пониженной мощностью передатчика, которая составляет 1 Вт. Радиус действия 2 2,5км.
- "Экран". По сути является простым абонентским приемником. Формирует телевизионный сигнал по 1 или 4 каналу с амплитудой 1В для подачи через кабельную сеть до 8 телевизоров.

Система «Экран-М» имеет один существенный недостаток, который серьезно ограничивает ее широкое использование. Частоты этой системы совпадают с частотами наземных передающих станций.

#### Система «Москва»

Действующая с 1979 г. спутниковая система косвенного распределения телевизионных программ "Орбита" дополнилась повой эффективной системой прямого распределения "Москва", работающей через геостационарный спутник "Горизонт". По назначению и но используемому диапазону частот система "Москва" близка к системе "Орбита", однако имеет ряд значительных преимуществ, перечисленных в таблице 6.2.

Всю историю своего развития космическая промышленность была "святая святых" государства. Все работы по разработке, созданию, запуску и эксплуатации космической техники были под строгим государственным контролем.

Но времена изменились. После распада СССР Россия окунулась в эпоху рыночных отношений, причем с "космическим" размахом. Теперь любая коммерческая организация может создавать и развивать "спутниковый" проект на основе своих или арендованных спутников связи. А проектов таких очень много, несмотря па то, что страна переживает далеко не лучшие времена в финансовом отношении. При беглом знакомстве с программами по созданию систем мобильной спутниковой связи, спутниковых каналов передачи электронной информации, мониторинга земной поверхности, ведомственных спутниковых каналов связи (Центробанк России, АО Газпром) создается ощущение, что единственная отрасль в России, которая завалена заказами — это космическая промышленность. Судите сами: в

настоящее время Россия имеет около 180 активно функционирующих космических аппарата па орбите.

Таблица 6.2. Основные параметры систем "Экран-М", "Москва" и "Москва-Глобальная"

Параметры	Москва (Горизонт)	Экран-М (Экран)	Москва- Глобальная (Горизонт)
Нестабильность на орбите, град	До ±2	До ±2	До ±2
Номер ствола	6	1; 2	6
Несущая частота, ГГц	3,675	0,714; 0,754	3,675
Полоса частот, МГц	±17	±12,5	±13,5
Поляризация Мощность передатчика, Вт	Круговая 40	Круговая 200	Круговая 40
Максимальная ЭИИМ, дБВт/м <sup>2</sup>	120	117	131,5
Сигнал дисперсии	Треугольный, частогой 2,5 Гц, девиация 4 МГц	Нег	Треугольный, частотой 12,5 Гц, девиация 0,5 МГц
Сигнал звукового со- провождения, частота поднесущей, МГц	7	6,5	7
Девиация, кГц	±150	±150	±50
Капал дополнительной информации	Сигнал изображения полос газет для тинографий на подпесущей 8,2 МГц	Her	Четыре сим- плексных канала для циркулярной связи общим цифровым пото- ком 256 Кбит/с па подпесущей 8,25 МГц
II company	Управляемое	Нет	Неуправляемое
Предыскажение сигнала звука	комнандирование амилитудно- модулируемым сигналом часто- той 11 кГц		компандированис
Приемная антенна	параболическая, 2,5 м	Волновой капал 4 и 32 полотна	параболическая, 4 м
Усиление, дБ	37,5	23 и 30	41,7
Эквивалентная шумовая температура, *К	80	150 и 80	55
Отношение сигнал/шум в видеоканале, дБ	53	48 и 54	43

К концу этого столетия должно быть запущено около 100 КА в рамках новых спутниковых систем:

- Система "Гонец". Предназначена для передачи электронной информации с выходом в сети общего пользования, связи и контроля за подвижными объектами, определения местонахождения, экстренной связи. Первые три аппарата были запущены в феврале 1996г. Всего планируется вывести на орбиту 45 спутников;
- Система "Сигнал". Похожа па систему "Гонец" и выполняет но сути те же функции: передача электронной информации, связь с мобильными терминалами. Развертывание системы планируется начать в 1997 г. Всего на орбите должно быть 48 спутников.

В настоящее время космические программы осуществляются с привлечением отечественных и западных инвесторов, что имеет большое значение для рядового потребителя. Производители спутниковых систем и частные инвесторы теперь должны думать об окупаемости проекта, т.е. "повернуться лицом к потребителю". Крупные отечественные компании начали вкладывать большие деньги в разработку космических проектов. Остановимся подробнее на трех из них: проекте "НТВ +", РТР-Телесеть и проекте "Ямал", поскольку они имеют ярко выраженную телевизионную направленность.

# Проект "НТВ+"

Вещание спутниковых программ "HTB +" ознаменовало начало эры непосредственного телевизионного вещания в России. Теперь любой владелец спутниковой системы может смотреть русскоязычные программы, передаваемые из Москвы.

# <u>Техническая реализация проекта "HTB +"</u>

Техническая проработка проекта осуществляется предприятием "Бонум-1", в котором на настоящий момент работает около 25 наиболее квалифицированных в России экспертов. В процессе работы был решен целый комплекс задач, стоящих перед организаторами проекта:

- выбор спутника;
- выбор передающей станции для доставки телевизионного сигнала из студии па борт спутника;
- выбор приемной аппаратуры для индивидуального пользователя;
- выбор системы кодирования;

• согласование правовых вопросов, связанных с регистрацией спутниковых позиций и рабочих частот.

Технические характеристики аппаратов приведены в табл. 6.3. Для организации телевизионного вещания используется схема подключения передатчиков и антенн, представленная в табл. 6.3.

эиим в Мощность, Частота, Передающая Номер центре KA Вт ГГц ствола антенна луча 56 85 2 12149.44 Галс-1 57 45 11834,56 A2 3 Галс-1 56 11919,28 85 1 A1 Галс-2 56 A1 85 2 12206,98 Галс-2 53 45 11765,84 A2 Галс-2

Таблица 6.3. Технические характеристики КА «Галс»

В настоящее время зоны покрытия, формируемые различными лучами имеют вид, представленный на рис. 6.26. Антенна A1 в сочетании с 85-ваттным передатчиком формируют луч с точкой прицеливания примерно между Москвой и Саратовом (рис. 6.26, а). Луч, сформированный антенной A2, подключенной к передатчику мощностью 45 Вт, образует зону покрытия с несколько худшими энергетическими характеристиками (рис. 6.26, б). И наконец третий луч, формируемый узконаправленной антенной A2 в сочетании с 45-ваттным передатчиком, позволяют принимать сигнал на еще меньшей территории (рис. 6.26, в).

В настоящее время завершено строительство передающего телецентра НТВ в городе Москва на ул. Новомосковской, что недалеко от Останкино. Передающая станция заказана у фирмы TIW Systems и состоит из четырех передатчиков мощностью 420 Вт (один резервный) и двух антенн диаметром 9,2 м. Это современное оборудование обеспечивает высокую надежность работы и позволяет начать вещание стереозвукового сопровождения (предполагается па музыкальном канале) и телетекста.

Желающий смотреть эти программы должен вносить ежемесячную плату 12 USD. А также дополнительно к имеющемуся оборудованию приобрести декодер.

К концу октября 1996 года стала известна система кодирования. Это система Nagravision, а точное ее несколько упрощенная разновидность — Syster. Она разработана швейцарской фирмой Nagra+ и используется на французских спутниках Telecom в системе SEC AM, что очевидно и определило окончательный выбор. Налаженный во Франции выпуск таких декодеров для этого стандарта позволил начать поставки в Россию в кратчайшие сроки. Декодеры других систем кодирования требовали доработки под стандарт SECAM.

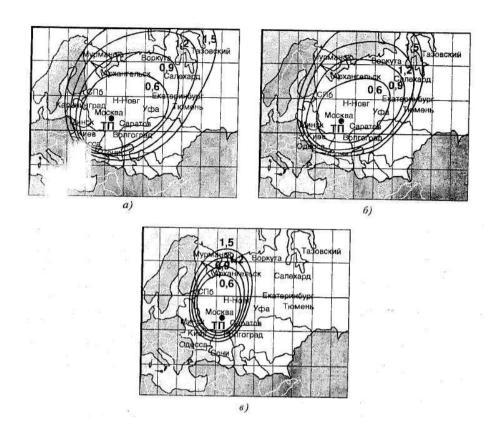


Рисунок 6.26. Зоны покрытия КА "Галс"

В сущности декодер Nagravision представляет собой "черный ящик", который подключается к ресиверу посредством кабеля SCART— SCART, по будет совершенно бесполезным без так называемой Smart Card, которая, образно говоря, является "ключом от неба" и без нее система будет неработоспособной. Благодаря этой карте телезритель может получить па экране своего телевизора, во-первых, само изображение и, во-вторых, информацию о сроках окончания подписки но каждому из каналов в отдельности. За три дня до окончания срока подписки декодер каждый час автоматически выдает сообщение о необходимости оплаты для продолжения необходимо добавить, Также что карточка подписки. индивидуальный код подписчика, который может быть включен или. выключен специальной командой в зависимости от внесения или невнесения абонентской платы.

#### РТР-Телесеть

Всероссийская Государственная Телерадиокомпания (ВГТРК), образованная в 1990 г., всегда уделяла большое внимание как вопросам создания своих программ па современном техническом уровне, так и вопросам развития сети их распространения. Основы этой сети па нынешнем уровне достижений телекоммуникационной техники должны, безусловно, составлять именно спутниковые вещательные системы. Исходя из комплексного подхода к распространению своих программ, одним из стратегических

направлений развития вещания на территории России ВГТРК считает именно спутниковое телевизионное вещание, используя новейшие современные технологические достижения в области цифрового непосредственного телевещания.

ВГТРК предприняла определенные шаги по техническому обеспечению будущих; потребностей, установив наземную станцию Ки-диапазона в своем Центре спутниковой связи в Клипу и создав тем самым возможность экспериментальной передачи четырех программ через половину объема одного транспордера спутника "Интелсат-604" (60° в.д.). В дальнейшем количество программ предполагается увеличить до шести, а затем и до двенадцати.

В перспективе ВГТРК планирует поэтапно приступить к охвату цифровым вещанием азиатской части России. В настоящее время ВГТРК готовит программное заполнение трех каналов, которые обеспечивает наземная станция в городе Клип (четвертый пока в резерве):

- телеканал "Россия";
- спортивный канал;
- фильмовый канал.

Для телезрителей в этом проекте существует очень важный негативный аспект — программы планируется сделать платными.

Для реализации и развития проекта создано коммерческое предприятие "РТР-Телесеть". Его задачей является создание пакета телевизионных программ па русском языке и вещании их в стандарте MPEG-2. В центре зоны покрытия обеспечивается уровень сигнала 43 дБВт, что позволяет осуществлять индивидуальный прием в Москве, Волгограде, Саратове па антенну диаметром 0,9 м, в Санкт-Петербурге — 1,2 м. Вещание будет вестись через спутник "Интелсат-604" (60° в.д.), транспордер 73 (11,137 ГГц) с вертикальной поляризацией.

Киноканал представит вниманию зрителей лучшие отечественные и зарубежные фильмы. Спортивный канал — это, в основном, репортажи со спортивных соревнований и комментарии спортивных журналистов, спортивные новости. К концу года предполагается открыть еще два капала — музыкальный и семейный. Музыкальный капал предполагает широкий спектр музыкальных передач — от симфонической музыки до рок-н-ролла. Семейный капал — детские фильмы и мультфильмы, развлекательные передачи в утреннее и дневное время, фильмы для семейного просмотра в вечернее время, фильмы и развлекательные передачи для взрослых в ночное время.

# Проект "Ямал"

Данный проект разрабатывается по инициативе Газпрома России. Основные газовые месторождения Газпрома находятся в Заполярье, Западной Сибири, в очень труднодоступных районах. Надежную связь с ними

можно установить только через спутник. Для этого основными газодобывающими предприятиями Газпрома и ведущим предприятием российской ракетно-космической отрасли — РКК "Энергия" — создано АО "Газком". Основной задачей АО "Газком" является разработка, развертывание и эксплуатация системы спутниковой связи и телевидения "Ямал". В настоящий момент "Газком" пользуется услугами спутника "Горизопт-17" в позиции 103° в.д.

В рамках этой программы в РКК "Энергия" была разработана спутниковая платформа "Ямал", на основе которой будут созданы два спутника связи. Полезную нагрузку для них изготовит фирма Space Systems/Loral (США). Спутники будут иметь параметры, представленные в табл. 6.4.

Таблица 6.3.4. Технические характеристики спутника "Ямал-100"

Параметр	Значение	
Масса ретранслятора и антенной системы, кг	300	
Мощность электропитания, Вт	1300	
Срок активного существования, лет	10	
Точность удержания спутника, град	0,1	
Точность ориентации спутника, град	0,1	
Лиапазон частот, ГГц	4/6	
Количество обслуживаемых зон	9	
Количество одновременно обслуживаемых зон	6	
ЭИИМ на краю зоны, дБВт	40	

Высокие энергетические параметры излучаемого сигнала позволяют использовать в земном сегменте станции с антеннами диаметром до 1,5м.

Дальнейшим развитием системы было создание более мощного спутника Ямал-200. Его технические характеристики приведены в табл. 6.5.

Таблица 6.5. Технические характеристики спутника "Ямал-200"

Параметр	<b>Значение</b> 1360
Масса спутника, кг	
Мощность полезной нагрузки, Вт	3400
Минимальный срок службы, лет	12
Точность удержания на орбите, град	0,1
Рабочий диапазон, Ки	C
ЭИИМ в центре пучка, дБВт (в скобках указан	35-40(C)
диапазон)	46-54 (Ku)
ANA CONTRACTOR OF THE PROPERTY	28 (C)
Количество транспордеров	16 (Ku)

Таблица 6.6. Технические характеристики спутника "Ямал-300"

Параметр	Значение
Масса спутника, кг	2600
Мощность полезной нагрузки, кВт	до 10
Минимальный срок службы, лет	15
Точность удержания на орбите, град	0,1
Рабочий диапазоп	Ku
ЭИИМ в центре пучка, дБВт	56
Количество транспордеров	24

Для создания национальной системы телевещания, отвечающей самым современным требованиям, РКК "Энергия" приступила к разработке тяжелого спутника Ямал-300 (табл. 6. 6), заказчиком которого также намерено выступить АО "Газком".

Ознакомившись подробнее с проектом "Ямал", осознаешь, что Газпром фактически является государством в государстве. Раз уж планируется запускать коммуникационные спутники, то почему бы не создать заодно и собственную систему телевизионного вещания? Такую систему Газпром создает. Она включает в себя как разработку технических средств распространения телевизионных программ через спутник, так и создание собственной телекомпании, работающей над собственными телевизионными программами. Вещание предполагается вести в цифровом стандарте MPEG-2. Программы будут распространяться через местные телевизионные центры путем трансляции в эфир. Как и в большинстве современных российских телевизионных проектов, предполагается телезрителей взимать абонентскую плату.

# Проект РусЛан

Интерес к западноевропейским спутниковым телепередачам огромен. Этот интерес порождает спрос на приемное спутниковое оборудование, который возрастает скачками, обусловленными в том числе и появлением новых спутников. Просмотр спутниковых программ становится все более доступным благодаря доступности цеп па приемное оборудование. Одним из основных факторов, сдерживающих потребительский спрос является языковый барьер, так как пи одна из транслируемых западно-европейских спутниковых программ в настоящее время не снабжена переводом на русский язык.

Очередной скачок спроса на спутниковое приемное оборудование Может вызвать появление нескольких западно-европейских спутниковых телепрограмм с синхронным переводом па русский, язык. Величина этого скачка будет гораздо выше, если хотя бы первое время будет возможность бесплатного просмотра передач с синхронным переводом, однако в этом

случае возникают серьезные проблемы с финансированием самого процесса перевода, а так же с авторскими правами па переводимые телепередачи.

Платный доступ при помощи специального декодера и smart-card к кодированным синхронным переводам спутниковых телепередач на русский язык — один из эффективных путей решения этих проблем.

Компания Universal Communications и ее дочерняя фирма "РусЛан" осуществляют проект трансляции сигнала синхронных переводов телепрограмм Deutsche Welle, TV Polonia, NBCS uper Channel, Euronews, MCM и других европейских каналов, транслируемых через спутники Hot Bird I, Hot Bird II, и Eutelsat II-Fl.

В соответствии с выбранной технологией, в один канал звукового сопровождения при помощи специального кодера уплотняют несколько речевых каналов. Через них передают кодированные сигналы переводов двух и более телепрограмм одновременно. По каждому речевому каналу транслируются синхронные переводы наиболее интересных европейских телепрограмм, принимаемых со спутника в реальном времени.

Для получения доступа к переводам необходим специальный декодер "Руслан". Он выделяет и декодирует один сигнал перевода и смешивает его с сигналом звукового сопровождения соответствующей телепрограммы. С пульта дистанционного управления можно регулировать уровень громкости как основного звукового капала, так и капала синхронного перевода. Декодер подключается к стандартному приемному оборудованию кабельной сети или индивидуального пользователя. На рис. 6.27. приведена схема подключения к головной станции кабельной сети.

Оператор кабельной сети может транслировать на одном телевизионном канале либо наиболее интересные программы разных спутниковых каналов, либо одного выбранного капала.

В дальнейшем предполагается организовать вещание синхронных переводов со спутника Hot Bird.

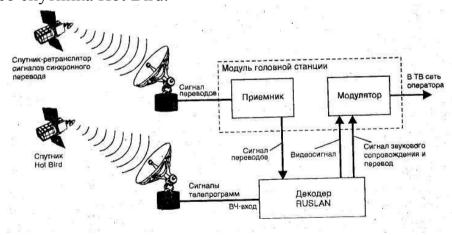


Рисунок 6.27. Схема подключения декодера "Руслан" к головной станции кабельной сети

## Спутники HOT BIRD

28 марта 1995 г. при помощи носителя Ariane V71 был произведен запуск и вывод на геостационарную орбиту в точку 13° в. д. спутника Hot Bird I. В отличие от Eutelsat II-F1 (в той же точке), он имеет более мощный ретранслятор и более обширную зону покрытия (рис.6.28.). Во многих городах России, от западной границы до берегов Волги, стал, возможен прием спутниковых программ на антенны диаметром менее 1м.

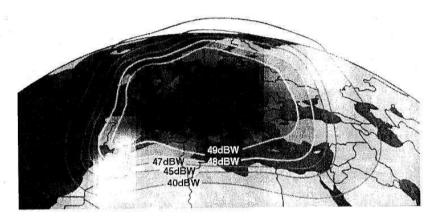


Рисунок 6.28. Зона покрытия спутника Hot Bird I

Спутник Hot Bird I принадлежит европейской интернациональной организации спутниковой связи Eutelsat. Эта организация была создана в 1985 г. и в настоящее время объединяет 47 стран, включая Россию. Семь спутников Eutelsat обеспечивают работу государственных служб связи как национальных, так и международных (телефон, телеграф, телекс, радио и телевидение), а также специализированных служб (радионавигация, космические исследования, метеорология и исследование природных ресурсов Земли из космоса).

Основные технические характеристики спутника представлены в табл. 6.7.

Таблица 6.7. Технические характеристики спутника Hot Bird I

Параметр	Значение	
Срок службы, лет	11	
Мощность ретрансляторов, Вт	70	
Количество ретрансляторов	16	
Частотный диапазон, ГГц	11,2-11,55	
Ширина полосы частот, МГц	36	

21 ноября 1996г. на мысе Канавералл (полуостров Флорида) был произведен запуск ракеты Atlas II A со спутником Hot Bird II на борту.

Спутник выведен и размещен в позиции 13" в.д. и стал третьим спутником компании Eutelsat в этой точке. Его технические характеристики приведены в табл. 6.3.8, зона покрытия — на рис. 6.29.

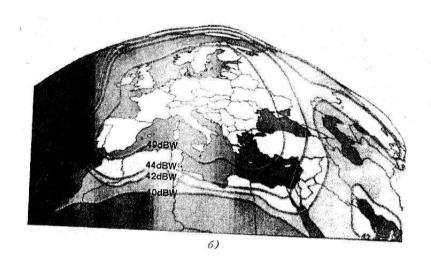


Рисунок 6.29. Зоны покрытия спутника Hot Bird II.

Таблица 6.8. Технические характеристики спутника Hot Bird II

Параметр	Характеристика	
Модель платформы	Eurostar 2000 Plus	
Изготовитель	Matra Marconi	
Стабилизация	по трём осям	
Вес, кг	2900	
Срок службы, лет	12	
Мощность ретранслятора, Вт	110	
Частотный диапазон, ГГц	11,45-11,7; 11,7-12,5	
Ширина полосы частот, МГц	36	
Поляризация	липейная	
Количество ретрансляторов	20	

В 1997 г. в ту же точку должен быть выведен спутник Hot Bird III с аналогичными характеристиками, что позволит увеличить количество

транслируемых программ до 56. При этом зона приема расширяется еще дальше па восток и захватывает территорию Казахстана.

К 1999г. в позиции 13 будет разместилась очень мощная спутниковая группировка, транслирующая до 70 аналоговых и до 300 цифровых каналов.

### Вопросы для самопроверки

- 1. Для чего предназначена система SMATV?
- 2. Что такое сплиттеры? Для чего они предназначены?
- 3. Чем отличаются направленный и ненаправленный ответвители?
- 4. Для чего предназначены усилители и коммутаторы?
- 5. Какие существуют виды распределительных сетей? В чем заключаются их отличительные черты?
- 6. Какие российские системы СТВ находятся в эксплуатации? В чем их особенности?
- 7. Какие спутники используются в «HTB+»?
- 8. Какие отличительные черты имеет РТР-Телесеть?
- 9. На какие регионы рассчитан проект «Ямал»?
- 10. Каким образом осуществляется подключение декодера «РусЛан» к головной станции?
- 11. Для чего предназначены спутники Hot Bird?
- 12. Чем отличаются спутники Hot Bird разных годов запуска?

## 7. Кодирование спутниковых каналов и их просмотр.

## 7.1.Системы кодирования спутниковых каналов.

Задумываясь над приобретением системы спутникового телевидения и мысленно оценивая свои финансовые возможности, надо, в первую очередь, решить, что вы желаете получить в результате. Вряд ли вас устроят только государственные каналы, их содержание обычно оставляет желать лучшего. Наиболее интересны коммерческие развлекательные каналы. Однако в большинстве своем они транслируются c частичным ИЛИ изображения и (или) звука. И кодированием ЭТО случаевоправдано. Необходимо платить за аренду транспордера, за авторские права, за лицензию на вещание и многое другое. С государственными каналами все ясно — они финансируются из бюджета страны. А как же быть владельцам частных каналов? Естественно, взимать плату за просмотр со зрителей, предварительно предложив им нечто, за что они способны заплатить. Хорошо, заинтересовали, но кто же будет добровольно отдавать свои деньги? Для этого производитель вынужден заставить зрителя платить. Метод убеждения здесь бесполезен, и в действие вступает метод принуждения. Заключается он в том, что на телевизионной студии, где формируются программы, с помощью специального устройства (кодера) отличный высококачественный телевизионный сигнал сознательно разрушается по строго определенному алгоритму. Причем методы такого «вандализма» постоянно совершенствуются, вам же у себя дома совершенно необходимо получить высококачественное изображение с приятным звуком. Нет проблем — достаточно приобрести декодер и декодирующую карточку, которые позволят вам наслаждаться просмотром любимого канала. Типовая схема кодирования спутникового телевизионного сигнала представлена на рис. 7.1.

В телевизионной студии, где формируются программы, сигналы изображения и звукового сопровождения поступают на кодирующее устройство. Компьютер, управляющий работой кодера, вырабатывает алгоритм, в соответствии с которым кодер искажает видео - и (или) звуковой сигнал. Кроме того, этот компьютер вырабатывает зашифрованную кодовую посылку с информацией для декодера об алгоритме, который ему нужно использовать. Эта информация чаще всего передается в составе видеосигнала в скрытом виде. Управляющий компьютер связан с другим, входящим в систему обслуживания абонентов и содержащим базу данных обо всех подписчиках, пользующихся услугами данного телеканала.

Декодер принимает кодированный сигнал и восстанавливает или не восстанавливает его в зависимости от того, получено разрешение от системы обслуживания абонентов на открытие (декодирование) принимаемого сигнала или нет.

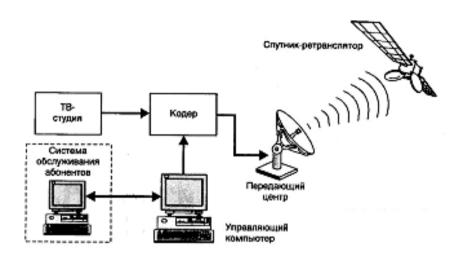


Рисунок 7.1. Типовая схема кодирования спутникового телевизионного сигнала

При кодировании большинства телевизионных спутниковых программ используются три основных стандарта кодирования: VideoCrypt (I/II) для системы PAL; Nagravision для систем PAL и SECAM; EuroCrypt для системы D2-MAC. Все они основаны на цифровых методах обработки видеосигнала. При помощи АЦП аналоговый сигнал преобразуется в цифровой и кодируется. Затем происходит обратное преобразование сигнала в аналоговую форму, и он поступает на передатчик. В приемнике реализуется обратный процесс.

Остальные системы кодирования, и которых используется аналоговая обработка, легко вскрываются без расшифровки секретных ключей, с: помощью которых информация об алгоритме кодирования передается в декодер.

# Cucmeмa VideoCrypt

Эта система появилась в Англии в феврале 1990 г., когда телекомпания BSH (British Sky Broadcasting) начала кодирование своих программ. Система была разработана фирмой Thomson и активно эксплуатируется до сих пор в двух модификациях — VideoCrypt I и П.

Сущность VideoCrypt I заключается в разрыве каждой телевизионной строки изображения на две части, которые затем меняются местами. Для этого сигнал сначала оцифровывается (частота дискретизации 28 МГц), далее строка разделяется на две части в одной из 256 точек разрыва, определяемой генератором псевдослучайных чисел (рис. 7.2). Полученные части ТВ-строки меняются местами, вновь объединяются с сигналами синхронизации, и сформированный таким образом телевизионный сигнал передается в эфир.

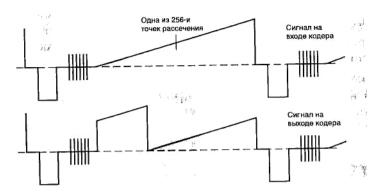


Рисунок 7.2. Строка телевизионного сигнала при кодировании в системе VideoCrypt

Для приема изображения с хорошим качеством необходим специальный декодер, выполняющий описанную выше последовательность операций в обратном порядке.

Для этой цели декодер использует информацию из двух источников: принимаемого телевизионного сигнала и специальной карточки (Smart Card), невозможна. Зашифрованный которой работа раскодирования передается вместе с сигналом и поступает в декодер, к которому подключена карточка. Если подключена официальная карточка принимаемого телеканала, декодер считывает данные, необходимые для восстановления ТВ-сигнала данного канала. Каждая карточка рассчитана на срок действия, зависящий от срока оплаты, определенный возможность правильно интерпретировать набор команд, передаваемых в ТВ-сигнале.

В зависимости от типа карточки можно смотреть один или несколько каналов либо просматривать строго определенное число раз какую-либо одну программу (система оплаты per view, карточка которой содержит счетчик числа просмотров). Регулярно в эфир передаются команды отключения карточек, срок действия которых уже закончился, после чего они становятся совершенно бесполезными.

Система VideoCrypt II отличается от рассмотренной выше другим протоколом передачи данных между картой и декодером.

Декодер реагирует именно на свой, предназначенный для его системы служебный код, и далее процесс происходит аналогично описанному выше. Заметим, что VideoCrypt II при приеме слабых сигналов работает неустойчиво. Служебный код может считываться декодером с большим количеством ошибок, из-за чего нередки сбои при дешифровании ТВ-сигнала. Для каждой системы кодирования (VideoCrypt I и VideoCrypt И) необходим свой декодер, однако многие каналы передаются в этих двух системах одновременно.

На сегодняшний день VideoCrypt — наиболее распространенный метод кодирования телевизионных сигналов, передаваемых в системе PAL. Именно его популярность и привлекает современных «пиратов». Практически все

разновидности VideoCrypt вскрыты, и доступ к информации о кодах и ключах можно свободно получить по сети Internet.

Наиболее распространенный способ борьбы с пиратством в этой системе — частая смена кодов. Однако это приводит к дополнительным издержкам, которые и так достаточно велики.

## Система EuroCrypt

По своей идеологии система кодирования EuroCrypt аналогична системе VideoCrypt. Отличие заключается в том, что разрывается не строка изображения, а его яркостная и цветовая составляющие.

системе D2-MAC яркостная и цветоразностные компоненты изображения передаются отдельно, поэтому рассечение и перестановка этих компонент осуществляется также раздельно. Были разработаны два способа: перестановка компонент с двукратным рассечением и перестановка компонент цветоразностного сигнала. В первом варианте, обеспечивающем больший уровень засекречивания, сигналы яркости и цветности разрезаются (каждый в некоторой точке) и компоненты их переставляются (рис. 7.3.). Место рассечения изменяется по псевдослучайному закону независимо для каждой из компонент. Во втором варианте, с меньшей секретностью, рассечению и перестановке подвергается только цветоразностный сигнал. Кодирование звукового сигнала осуществляется путем преобразования в цифровую форму дельта-модуляции. Для помощью повышения помехозащищенности помехоустойчивое применяется блоковое кодирование. Цифровой поток преобразуется в па кеты и передается в последовательных строках вместо строчных гасящих импульсов.

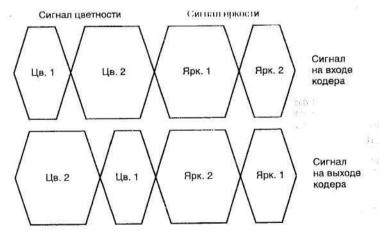


Рисунок 7.3. Строка телевизионного сигнала при кодировании в системе EuroCrypt

В настоящее время существует 3 модификации данной системы кодирования сигнала: EuroCrypt S; EuroCrypt M и EuroCrypt S2. Они

отличаются друг от друга протоколами общения с карточками и имеют альтернативный алгоритм дешифрования данных ДЛЯ восстановления EuroCrypt S считается изображения. устаревшей практически смену пришла EuroCrypt M, используется. Ей на стандартная ДЛЯ D2-MAC, большинства каналов а также недавно появившаяся Mсовместимая система EuroCrypt S2.

Выпускаемые декодеры EuroCrypt. должны поддерживать все модификации кодирования, однако это не всегда, имеет место. Причина заключается в изменении программного обеспечения декодеров, которое каждая фирма-производитель создает согласно своей концепции. Поэтому зачастую происходят ошибки, которые доставляют лишние проблемы потребителю. Мировым лидером в производстве комплектующих элементов для декодеров D2-MAC и EuroCrypt является фирма ITT. Ее микросхемами комплектуют, фактически все приемники и декодеры этой системы.

На сегодняшний день рынок декодеров и приемников со встроенным декодером D2-MAC очень разнообразен: NOKIA, ECHOSTAR, PACE, PHILIPS и др. Все они имеют свои преимущества и недостатки. Например, по свидетельству специалистов, декодеры фирмы NOKIA обеспечивают высокое качество изображения (модель 3002CS). До недавнего времени декодеры PACE имел проблемы с протоколом EuroCrypt S2,однако и модели PACE D155 эти недостатки были учтены, и декодер работает очень хорошо со всеми модификациями рассматриваемого кодирования.

В случае использования отдельного декодера его подключение может производиться двумя способами, зависящими от особенностей комплектации конкретной модели приемника. В первом случае (рис. 7.4) используется разъем SCART, через который принятый сигнал поступает на декодер для обработки. Декодированный сигнал через этот же разъем поступает обратно в приемник и далее в телевизор. Во втором случае (рис. 7.5) с выхода декодера сигнал поступает непосредственно на вход телевизора.



Рисунок 7.4. Первый вариант подключения декодера



Рисунок 7.5. Второй вариант подключения декодера

## Cucmeмa Nagravision

В этой системе кодирования применяется метод перемешивания строк. Так же, как и в предыдущих системах, на передающей телевизионный сигнал преобразуется в цифровую форму и записывается в память. Затем происходит перемешивание строк по псевдослучайному закону, сигнал преобразуется в аналоговую форму и подается на передатчик. Такой порядок работы имеет существенный недостаток: в декодере должны присутствовать микросхемы памяти достаточно большого объема, что увеличивает его цепу. Для удешевления декодера была разработана модификация Syster, которая, кстати, используется в системе «HTB + ». Здесь все строки полукадра разделяются на 6 блоков и перемешивание строк блока. образом, осуществляется внутри каждого Таким возможность уменьшить объем необходимой памяти и, следовательно, снизить цену декодера. Специальная карточка позволяет сделать работу декодера индивидуальной, подобно системам VideoCrypt и EuroCrypt.

# 7.2Просмотр кодированных спутниковых каналов

известно, 3a удовольствие надо платить, спутниковое телевидение здесь не является исключением. Все мы понимаем, что зрелищные каналы, по которым можно увидеть наиболее популярные фильмы, лучшие шоу, эротические программы и т. п. не могут быть бесплатными. Однако всегда находятся люди, которые считают, что платить можно значительно меньше, чем запрашивают владельцы телеканала. И, как показывает практики, такого рода зрителей достаточно много, что дает почву развития пиратской индустрии. Спрос, как известно, предложение, и вот, совершенно официально приобретя декодер, необходимо сделать выбор и идти покупать у дилера легальную карточку для просмотра канала или воспользоваться пиратской. И в первом, и во втором случае необходимо совершенно отчетливо понимать, за что вы платите деньги. Наиболее надежен первый вариант, когда вы приобретаете официальную карточку (внешний вид некоторых из них приведен на рис. 7.6). Однако и здесь возможны неожиданности. Прежде чем сделать покупку, обязательно выясните, с какими возможностями карточку вы приобретаете, и на какой срок действия она рассчитана. При этом учтите, что возможны различные «форс-мажорные» обстоятельства.

Разумеется, приобретая пиратскую продукцию, никаких гарантий вы не получите. Для российского потребителя, не отягощенного большими доходами, этот вопрос является очень актуальным, тем более что официальные карточки купить практически невозможно. Для лучшего понимания этой проблемы необходимы некоторые пояснения.

В начале 80-х годов, впервые в Европе, кодирование передач осуществляла компания Canal +. С тех пор идет непрерывная война между руководителями каналов, пытающимися более надежно защитить свои передачи, и хакерами (программистами), которые постоянно находят способы взлома систем защиты. Сегодня практически нельзя назвать ни одного достаточно широко применяемого метода кодирования, который не был бы в той или иной мере вскрыт. И это совершенно неудивительно, ведь с помощью компьютера хакерам удавалось взламывать сложнейшие банковские системы кодирования, не то, что код карточки со стандартным протоколом передачи информации. Добавьте к этому утечку информации из фирм — производителей карточек. Таким образом, можно сделать вывод: техническими средствами бороться против пиратов фактически бесполезно.



Рисунок 7.6. Официальные декодирующие карточки

И все же те, кого пиратство бьет по самому чувствительному месту по карману, не сложили оружие. Они по-прежнему надеются одолеть пиратов технически. Специалисты считают, что высокий уровень кодирования (шифрование управляющей информации, кодирование видеосигнала и звука наборами полосовых фильтров и инверторами частот), а также комбинирование этих методов гарантируют защиту от пиратов. А что же говорит по этому поводу закон?

В России продажа пиратских карточек ведется совершенно открыто. Если раньше такие карточки привозились из-за рубежа, то теперь и в нашей стране нашлись предприимчивые и квалифицированные люди, которые наладили их выпуск и организовали продажу.

Таким образом, защита кодированных каналов в настоящий момент сводится к периодической смене ключа кода, карточек и выявлению источника уточки информации. Смена кода может производиться 1 — 3 раза в год, но иногда компании себе в убыток могут менять шифр практически ежемесячно, что делает производство пиратских карт невыгодным. Страдает от этого, прежде всего, законопослушный потребитель, которому необходимо каждый раз менять карту, да и компания несет немалые убытки, стремясь отпугнуть пиратов от своего канала.

С появлением общедоступных средств электронного обмена информацией сведения о способах взлома систем кодирования широко распространяются но всему миру. В сети Internet содержатся сотни схем Smart Card, программы их прошивки и другая информация о способах взлома того или иного канала.

Пиратские карточки (рис. 7.7), как и любой другой товар, обладают своими достоинствами и недостатками. Они имеют значительно более низкую цену и предназначены, как правило, для просмотра сразу нескольких каналов. Одна пиратская карточка может открывать несколько, обычно около 15, каналов. Лучшие же образцы «черного рынка» способны вскрывать до 20 каналов. Если будет перекодирована пара программ, карточка будет работать с остальными. Через некоторое время, будьте уверены, перекодированный канал «вскроют» и, если вашу карту можно перепрограммировать, то за очень небольшую дополнительную плату можно ввести новый код и обеспечить дальнейший просмотр этих каналов.

По сообщениям средств массовой информации, в Европе широко распространена пиратская карта, которая может быть запрограммирована таким образом, что у ее владельца не возникает никаких проблем с многочисленными вариациями двух различных систем управления доступом (карты VideoCrypl 1 и EuroCrypt M, S и S2). Существуют очень совершенные карты, перепрограммирование которых может быть выполнено непосредственно владельцем либо с пульта дистанционного управления приемником или декодером, либо с персонального компьютера.

К недостаткам пиратских карт можно отнести, прежде всего, короткий срок их действия (пока владельцы канала не сменят код) и некоторую капризность при работе с различными декодерами. Как уже отмечалось

ранее, производители декодеров могут модифицировать программное обеспечение, и поэтому каждую карту необходимо проверять на конкретном декодере.

Россия в 1996 г. вступила в эпоху индивидуального спутникового приема — компания НТВ начала вещание сразу четырех каналов, причем в закодированном виде. Использованная ею система кодирования (Nagravision/Syster), разработанная швейцарской фирмой Nagra+, еще не так давно считалась одной из самых устойчивых к взлому, так как ею никто всерьез не занимался — вовсю шла продажа пиратских карточек системы EuroCrypt.

Репутация Syster была очень высокой долгие годы, она не создавала проблем для поставщиков программ платного телевидения. После того, как грабителями вплотную занялись органы правопорядка и правосудия, рынок пошатнулся. В это время «неприступная Syster» стала объектом самого пристального внимания пиратов. Слухи о том, что эта система взломана, ходили давно, но только в июле 1996 г. стало очевидно, что это осуществлено.

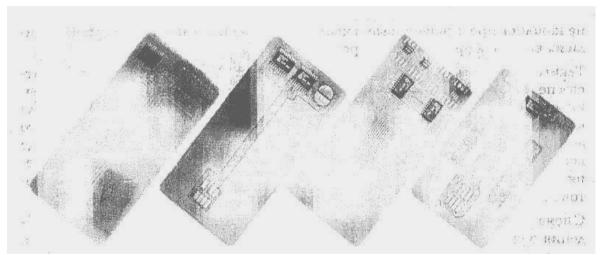


Рисунок 7.2.2. Пиратские декодирующие карточки

### Пиратские декодирующие карточки

Структура декодирующей карточки обманчиво проста: она состоит из памяти и микропроцессора, причем оба эти элемента являются типовыми и их часто объединяют в одном корпусе (рис. 7.8).

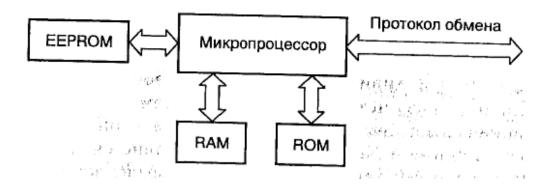


Рисунок 7.8. Функциональная схема декодирующей карточки.

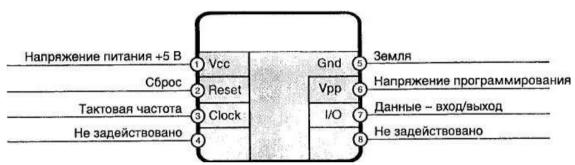


Рисунок 7.9. Расположение контактов на декодирующей карточке согласно стандарту ISO 7816

Независимо от области применения (телефонная, банковская и другие карты) используется общий стандарт ISO 7816, который определяет не только геометрические размеры, но и протоколы обмена. Согласно данному стандарту, на карточке расположено восемь контактов (рис. 7.9).

Типы используемой памяти могут быть различными: оперативная память (RAM — Random Access Memory), постоянное запоминающее устройство (ROM — Read Only Memory), стираемое программируемое постоянное запоминающее устройство (EPROM — Erasable Programmable Read Only Memory) и электрически стираемое программируемое постоянное запоминающее устройство (EEPROM — Electrically Erasable Programmable Read Only Memory).

RAM используется для временного хранения данных в ходе их обработки. Информация, сохраненная в ROM, зафиксирована и не может быть изменена. Память данного типа используется для подпрограмм интерфейса карты и выполняет ряд других вспомогательных функций. Это означает, что программы, которые будут сохранены в ROM, являются частью операционной системы чипа.

Использование EPROM в декодирующих карточках не слишком удобно: они хотя и предполагают возможность перезаписи, но лишь после соответствующего ультрафиолетового облучения. Поэтому там, где содержатся наиболее интересные данные: алгоритм и ключи декодирования,

а также сервисная информация, например, о каждом используемом канале и текущей его оплате, широко применяется EEPROM.

Основную трудность при создании пиратской карты представляет, выбор микропроцессора. Вот здесь-то и открывается свобода для творчества во всем ее многообразии. Следует отметить, что в настоящее время широкое распространение (в том числе и в России) получили карты на основе PIC (Programm Intelligence Controller), что обусловлено их низкой стоимостью и простотой в эксплуатации.

Для того чтобы произвести перепрограммирование карты, необходимо узнать новый код, который используется в данном телеканале. Эту информацию можно достаточно легко найти в сети Internet на страницах, посвященных спутниковому телевидению, где эти сведения появляются зачастую буквально через 2—3 дня после смены кода.

Существует несколько нетрадиционных способов получении новых кодов:

- Перехват обновления легальной карты через эфир
- «Взлом» протокола обмена между легальной картой и декодером.
- Утечка информации из телекомпании

## Перехват обновления через эфир

Каждая легальная карта имеет свой уникальный адрес, который необходим для ее идентификации при обращении к ней через эфир. Он имеет длину 9 байт и состоит из двух частей:

- Адреса групп (до 256) клиентов длиной 4 байта (SA Shared address)
- Персонального адрес клиента длиной 5 байт (UA User Address)

Сравнивая полученный адрес со своим, карта определяет, кому именно если адресована команда, И, команда адресована ей, производит определенные действия: изменяет дату подписки на канал, уменьшает или vвеличивает значение счетчика оплаты, производит операцию модификации кода. Вот это последнее действие и представляет наибольший интерес для пиратов. Первоначально карта получает новый код в зашифрованном виде. Для его дешифрования используется имеющийся в карте управляющий ключ (Management Key). После дешифрования новый код записывается в память и начинает использоваться при декодировании сигналов. Из этого следует важный вывод: зная управляющий ключ, можно произвести дешифровку переданного нового кода. Однако искусство пиратской технологии этим не ограничилось. Совершенно логичным было соответствующую записать управляющий ключ И программу карточку, чтобы после изменения кода она автоматически произвела его

замену. Такие карты с автообновлением получили довольно широкое распространение, несмотря на достаточно высокую цену — до 200 USD. По заверениям их производителей, такие карты могут работать не менее года. Однако здесь существует несколько трудностей. Как видно из алгоритма смены кода, должен существовать легальный (т. е. оплаченный в телекомпании) SA, чтобы на этот адрес пришел сигнал обновления. И вот тут проявляется основной недостаток карт с автообновлением: если одна из них попадет в руки специалистов телекомпании, то они достаточно быстро узнают, какой SA использован в этой карте (и следовательно, в большой серии карт), и прекратят передачу ключей по этому адресу, а легальным подписчикам просто выдадут карты с новым SA.

#### Взлом протокола обмена между картой и декодером

Применение этого способа сопряжено с большими техническими трудностями. Процесс определения кода состоит в записи протокола обмена между легальной картой и декодером, осуществляемой при помощи персонального компьютера со специальным программным обеспечением. После записи этого протокола становятся известными шифрованные данные и соответствующая им дешифрованная информация. На ее основе можно методом подбора найти исходный код, Однако на это может уйти очень много времени — десятки лет, даже если не пользуются современные модели компьютеров. Выходом из этой ситуации является использование сети Internet, где создана целая система, которая объединяет для решения этой задачи большое количество компьютеров. Например, по Internet в феврале 1998г. прошло сообщение, что 01.02.98 в подобной атаке на канал TV 1000 приняло участие более 100 команд, оснащенных почти тремя сотнями компьютеров. Таким образом, TV 1000, поменявший свои коды в конце января, снова оказался взломан (что говорит о большой популярности канала).

## Типы пиратских декодирующих карт

Работа пиратской карты фактически ничем не отличается от работы легальной, и при получении всей необходимой информации (например, в EuroCrypt это идентификатор текущего канала, индекс ключа дешифрования и т. д.) она производит дешифрование сигнала. В настоящее время наибольшее распространение получили одно- и двухчиповые карты.

#### **SEASON**

Эмулятор декодирующей карты SEASON разработал весной 1994 г. Markus Kuhn. Фактически данное устройство представляет собой простой согласователь уровня между декодером и персональным компьютером, выполненный на MAX232 (рис. 7.10). На рисунке не показаны ни схема подключения питания усилителя 7407, ни его незадействованные выводы, которые закорочены на корпус.

Подключение к компьютеру производится чаще всего через последовательный порт RS232 (хотя не исключено и использование параллельного порта), так как в этом случае возможно использование кабеля большой длины.

Основным недостатком использования персонального компьютера является необходимость его постоянного включения во время просмотра телеканала.

Для работы с SEASON и подобными ему устройствами необходимо наличие соответствующего программного обеспечения, которое в достаточном количестве можно найти в сети Internet. Одними из лучших программ данного типа являются Vojager и Decrypt. Их периодически обновляемые версии не только имеют базу данных с кодами, но и позволяют оперативно их изменять. Следует отметить весьма устойчивую работу данного эмулятора с различными декодерами.

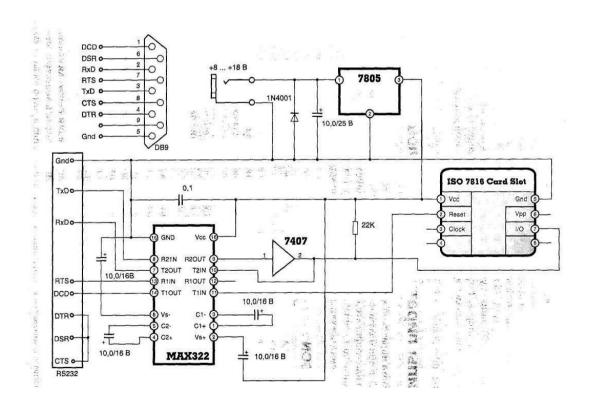


Рисунок 7.10. Карта согласования декодер-ПК SEASON

#### **PHOENIX**

Данное устройство (рис. 7.11) является доработанным вариантом предыдущей модели. Основное отличие PHOENIX от SEASON состоит в наличии управления от компьютера линией RESET и кварцевого генератора для обеспечения карты, сигналом тактовой частоты. На схеме не показано, каким образом запитываются усилители 7407 и 74HC04. Все неиспользуемые выводы этих микросхем закорочен на корпус. В схеме может быть использован кварцевый резонатор  $3,54 \pm 0,70 \, \text{М}$ Гц (например, от декодирующего блока цветности системы NTSC).

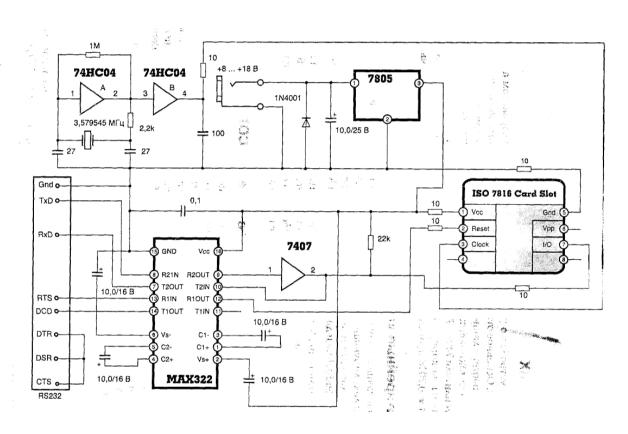


Рисунок 7.11. Карта согласования декодер-ПК PHOENIX

## <u>Батарейные карты</u>

В настоящее время это одни из самых дорогих и наименее распространенных декодирующих карт. Одна из последних версий карт такого типа состоит из достаточно мощного чипа DS5002FP (совместим с 8051) фирмы Dallas Semiconductors и двух микросхем RAM типа MB84256C-70LL (рис. 7.12).

Для питания процессора используется аккумуляторная батарея напряжением 3В (отсюда и название карт этого типа). Некоторые варианты батарейных карт содержат клавиатуру для непосредственного ввода кодов. Существуют, однако, модели, позволяющие делать это с пульта дистанционного управления.

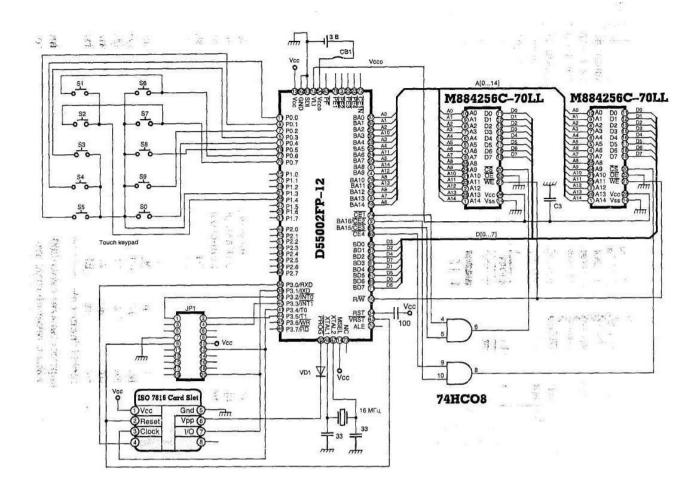


Рисунок 7.12. Батарейная карта Megatec на базе чипа DS5002FP

# Карты на основе процессора серии СОР

Декодирующие карты, выполненные на чипе COP8782, являются одними из лучших для системы EuroCrypt. Данный чип состоит из процессора и EPROM в одном корпусе и допускает только однократную запись. Однако существует возможность перезаписи дополнительного EEPROM, выполненного на микросхеме 24LC16B. Перепрограммирование можно осуществить при помощи компьютерных программ PIX, Nordic, МасМасег и т. д. (находятся в сети Internet).

Эти карты имеют достаточно высокую стоимость и считаются одними из самых качественных. Наибольшее распространение в США и Европе получили серии 2, 3 и 4.

Серия 2 имеет версии A, L, M, U, X, P и обладает возможностью дистанционного введения новых кодов.

Серия 3 автоматически меняет код (в случае, если известен управляющий код). На рис. 7.13 представлен один из вариантов принципиальной схемы карт данной версии — Millenium 12 — для декодирования EuroCrypt S2 и печатная плата к ней.

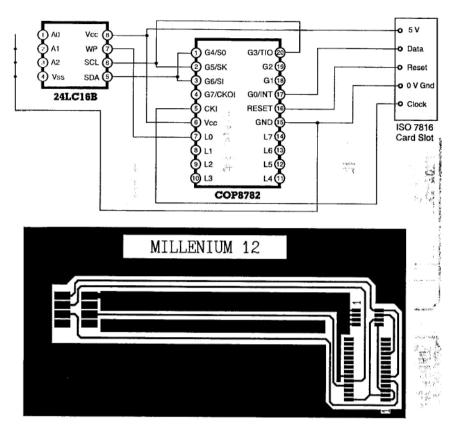


Рисунок 7.13. Принципиальная схема декодирующей карты Millenium 12 на COP8782 (а) и ее печатная плата (б)

Серия 4 имеет версии, носящие названия штатов США в алфавитном порядке: 4.02 (Аляска), 4.04 (Арканзас), 4.05 (Калифорния) и т. д. Данная серия не предоставляет возможности дистанционного ввода новых кодов, но обладает системой их автоматического обновления (ЕСМ — Electronic Counter Measures).

## Другие типы карт

В последнее время в связи с усилением противодействия руководства телеканалов распространению пиратских декодирующих карт все большую популярность приобретают карты с автообновлением кодов. Помимо уже упомянутых СОР-карт, этой возможностью обладают карты на базе чипа фирмы ОКІ MSM62880 (имеет встроенный EEPROM) и так называемые Steals-карты на базе чипа ST16SF42 (Thomson).

Стоимость таких карт составляет около 200 USD и существует мнение, что они будут работоспособны в течение года, что, впрочем, вызывает некоторые сомнения, так как телеканал может просто отключить группу карт с данным SA.

### Программаторы декодирующих карт

Одним из первых микропроцессоров, который обеспечил реальный коммерческий успех производителям пиратских карт, был PIC16C54. Он имитировал официальную карту типа 07 канала SKY с кодировкой VideoCrypt. Главным недостатком данной модели была невозможность повторного программирования, поэтому при каждой смене кода приходилось менять карту. Наиболее широко используемым микропроцессором в настоящее время является PIC16C84 (16F84), представленный на рис. 7.14. Он имеет следующие характеристики:

- CMOS-микроконтроллер с тактовой частотой 10 МГц
- 1 Кбайт энергонезависимой памяти для программ
- 64 байта энергонезависимой памяти для кодов программ
- 36 регистров
- Возможность программирования последовательным способом Напряжение питания 5 В
- Возможность подключения дополнительной EEPROM
- Низкую стоимость (менее 3 USD)

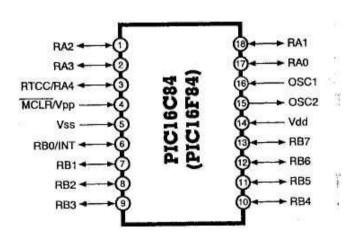


Рисунок 7.14. PIC16C84 (16F84)

Самый простой вариант декодирующей карты на основе PIC16C84 представлен на рис. 7.15. Данная карта хранит записанные коды во встроенном EEPROM объемом 64 байта. Поскольку длина каждого кода составляет 7 байт, то существует возможность записи только 9 кодов.

При работе обмен данными между картой и декодером осуществляется через вывод 13 (RB7), а тактовая частота подается с вывода 16 (OSC1). При программировании карты тактовую частоту необходимо подать на вывод 12 (RB6), как показано пунктиром на рис. 7.15. В случае применения процессора PIC16F84 необходимо использовать соответствующий вариант прошивки (устанавливается в программе Nordic).

Для увеличения числа записанных кодов может быть использован второй PIC16C84 (рис. 7.16). Программирование такой карты осуществляется через вывод 13 (RB7).

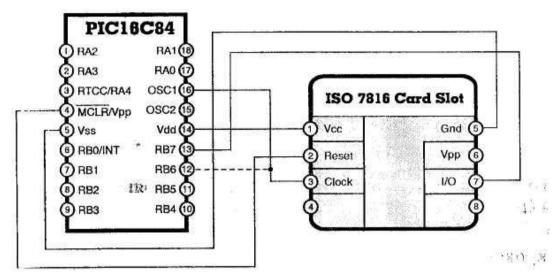


Рисунок 7.15. Декодирующая карта на процессоре PIC16C84 Nordic

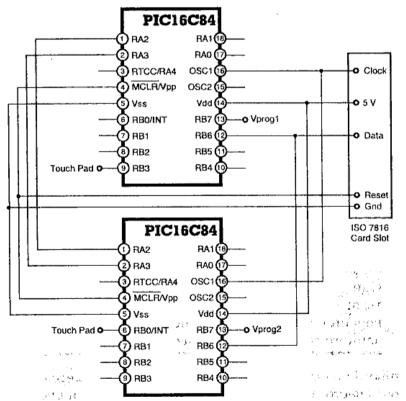


Рисунок 7.16. Декодирующая карта на двух процессорах РІС16С84

Программирование карты можно упростить, если добавить к PIC16C84 дополнительный EEPROM, 24LC16 (рис. 7.17). В этом случае все коды хранятся в EEPROM, и для обновления карты в него необходимо записать новую информацию.

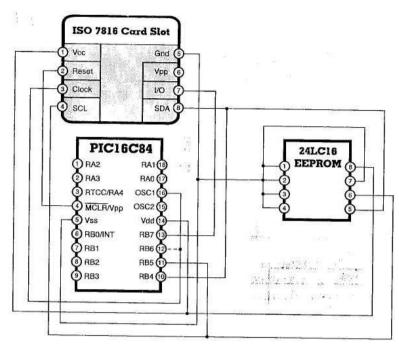


Рисунок 7.17. Декодирующая карта Multimac на процессоре PIC16C84 с EEPROM 24LC16

При работе данной карты обмен данными производится через вывод 13 частота вывода 16 (OSC1). (RB7). тактовая подается c программировании карты тактовую частоту необходимо подать на вывод 12 (RB6), как показано пунктиром на рис. 7.17. Данная схема предусматривает перепрограммирование EEPROM прямо в карте, однако после его окончания необходимо заклеить скотчем контакты слота ISO — SCL и SDA. Программа для прошивки такой карты — Multimac, отсюда и название карты. Для декодирующих карт, принципиальные схемы которых изображены на рис. 7.15и 7.17, необходима печатная плата, внешний вид которой представлен на рис. 7.18.

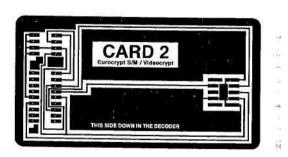


Рисунок 7.18 Печатная плата для декодирующих карт Nordic и Multimac

#### Вопросы для самопроверки

- 1. Как происходит кодирование спутникового телевизионного сигнала?
- 2. Какие стандарты кодирования применяются в настоящее время? В чем их различия?
- 3. Чем отличаются официальные декодирующие карточки от пиратских?
- 4. Из каких элементов состоит функциональная схема декодирующей карточки? За что отвечает каждый элемент схемы?
- 5. Какие существуют нетрадиционные способы получения новых кодов?
- 6. В чем заключается отличие пиратских декодирующих карт друг от друга?
- 7. Для чего предназначены программаторы декодирующих карт?
- 8. Какие программаторы являются наиболее применяемыми?
- 9. Для чего применяется печатная плата, изображенная на рис. 7.18?

# 8.Спутниковое оборудование.

# 8.1. Выбор и установка спутникового оборудования.

## Выбор оборудования для приема спутникового ТВ.

Выбор системы спутникового телевидения требует наличия у покупателя соответствующих знаний, терпения, выдержки и даже некоторой доли упрямства, когда продавец в чем-то отказывает.

Начать формирование комплекта лучше всего с антенны. Антенна какого диаметра вас устроит? Для ответа на этот вопрос соразмерьте свои желания и возможности. С желанием все ясно — каждый хочет принимать как можно больше каналов. С возможностями гораздо сложнее. Условно их можно разделить на две:

- Финансовую: сколько вы готовы потратить денег на антенну?
- Антенну какого максимального диаметра вы физически можете установить? Здесь все зависит от выбранного места установки.

Важным условием будет являться также и то, в каком диапазоне частот пред полагается осуществлять прием (С- или Ки-диапазон), а также характеристики сигнала конкретного телевизионного канала в точке приема. Запомните одно простое правило: чем больше диаметр антенны, тем выше уровень сигнала, а, следовательно, и лучше качество изображения, которое вы получите.

В процессе эксплуатации антенны под влиянием внешних условий (например, ветра) происходит ее деформация, что может привести к уменьшению коэффициента усиления. При выборе антенны это необходимо учитывать обычно рекомендуется приобретать антенну с небольшим запасом по диаметру (коэффициенту усиления).

Для определения диаметра приемной антенны можно воспользоваться таблицей, в которой учитывается мощность передаваемого сигнала в зоне покрытия того или иного спутника, а также уровень шума используемого конвертора.

Обратите внимание на материал, из которого изготовлена антенна. Как уже отмечалось ранее, в настоящее время антенны выполняются из стали, алюминиевого сплава, из стекло- и термопластика. Рассмотрим их достоинства и недостатки.

Главным преимуществом стальных антенн является низкая стоимость. Металл очень хорошо держит приданную ему форму, а это для рефлектора очень важно. Основным же недостатком стали является нестойкость к атмосферным воздействиям. Здесь имеется ввиду возможность возникновения очагов коррозии.

Таблица 8.1.Зависимость диаметра приемной антенны от уровня сигнала в зоне покрытия спутника

Уровень сигнала, дБВт/м² —	Диаметр индивидуальной антенны, м при уровне шума конвертора, дБ				
	1,2	1,0	0,9	0,8	
52,0	0,55	0,55	0,55	0,55	
51,0	0,55	0,55	0,55	0,55	
50,0	0,60	0,55	0,55	0,55	
49,0	0,75	0,65	0,65	0,60	
48,0	0,80	0,70	0,70	0,65	
47,0	0,85	0,80	0,80	0,75	
46,0	0,95	0,90	0,90	0,85	
45,0	1,05	1,00	0,95	0,90	
44,0	1,20	1,15	1,10	1,05	
43,0	1,35	1,30	1,25	1,15	
42,0	1,50	1,45	1,40	1,30	
41,0	1,70	1,60	1,55	1,45	
40,0	1,90	1,80	1,75	1,65	
37,5	2,55	2,40	2,35	2,25	
35,5	3,20	3,00	2,95	2,75	
33,5	3,95	3,70	3,60	3,35	

Необходимо четко осознать, что коэффициент усиления зеркальной антенны в большой степени зависит от проводимости рабочей поверхности зеркала, причем речь идет не обо всей толщине зеркала, а лишь о поверхностном слое толщиной в несколько микрометров. Известно, что с увеличением частоты высокочастотных колебаний глубина проникновения токов в металл уменьшается (так называемое явление скин-эффекта) и составляет всего несколько микрометров для частот 10—12 ГГц. Поэтому, если спустя некоторое время стальная антенна внешне выглядит как новая, то это вовсе не значит, что ее рабочие характеристики остались прежними. Ведь рабочий слой ее поверхности, отражающий электромагнитные волны, может быть поврежден коррозией. Способы защиты стальных изделий известны — оцинковка, грунтовка, покраска. Таким образом, можно сделать следующий вывод: покупайте стальную антенну, если для вас важна, прежде всего, ее низкая цена, а длительность ее качественной работы волнует меньше.

Алюминиевые антенны являются наиболее приемлемыми по показателю «цена — качество». Их стоимость ненамного превышает стоимость стальных антенн, и они имеют отличные электрические

характеристики. На поверхности рефлектора образуется тонкая оксидная пленка, наделено защищающая его от атмосферных воздействий. Жесткость антенны обеспечивается применением специальных алюминиевых сплавов. Недостатком же является необходимость защищать поверхность зеркала от ударов при перевозке и эксплуатации.

Стеклопластиковые антенны весьма трудоемки в изготовлении и требуют высокой точности профиля зеркала. Они ударопрочны, но имеют серьезный эксплуатационный недостаток: клеевые структуры изменяют свою форму под действием солнечного тепла, ухудшая электрические характеристики антенны.

Антенны из литого термопластика отлично сохраняют свою форму, стойки к атмосферным воздействиям, ударопрочны, обеспечивают высокие характеристики. К недостаткам следует отнести довольно большой вес конструкции. Важным фактором является качество нанесенного проводящего покрытия, его долговечность. Здесь особое внимание следует обратить на фирму-производителя. Как правило, антенны из литого термопластика самые дорогостоящие и имеют небольшой диаметр рефлектора.

Некоторые фирмы производят измерение коэффициента усиления каждой изготовляемой антенны, значение которого указывают в паспорте на изделие.

При выборе перфорированной антенны необходимо обратить внимание на диаметр отверстий: должно выполняться условие d/4. Только в этом случае коэффициент усиления антенны достаточно велик.

Лалее необходимо определить, какая антенна вас устроит: прямофокусная или офсетная. Офсетные антенны имеют диаметр, как правило, до 2м и обладают следующим преимуществом: облучатель и элементы крепления не затеняют раскрыва зеркала, что несколько увеличивает коэффициент усиления. К тому же, офсетная располагается под большим углом к поверхности Земли, и, следовательно, на ней меньше скапливается осадков в виде дождя и снега. Если вы разобрались с рефлектором антенны, в самый раз задуматься о ее подноске. Наиболее экономичен вариант с азимутально-угломестной подвеской, но в этом случае молено принимать программы только с одного спутника. Существует также возможность установки двух-трех конверторов с облучателями на одну офсетную антенну для приема программ с близко расположенных спутников.

В этом случае уместно порекомендовать антенну несколько большого диаметра для обеспечения необходимого коэффициента усиления.

Более интересным И значительно расширяющим возможности подвеской комплекта являются вариант c полярной И системой позиционирования (имеющейся в приемнике либо поставляемой как устройство), позволяющий производить перенацеливание антенны. Стоит такая система несколько дороже.

После того, как вопрос с зеркалом и способом его крепления решен, можно заняться конвертором и поляризатором. Важнейшими характеристиками конвертора являются шумовая характеристика и диапазон

принимаемых частот. Если вы хотите смотреть каналы в диапазоне от 10,70 до 12,75 ГГц, то конвертор должен быть полнодиапазонным. На настоящий момент уместно говорить о величине шума 0,5 — 1,0 дБ. Если в дальнейшем вы планируете осуществлять прием цифровых программ, то в этом случае конвертор должен обладать высокостабильными характеристиками, а на его корпусе должна иметься маркировка «digital».

Особое внимание следует обратить на корпус конвертора, так как в нем могут быть дефекты. Помимо недостаточной герметичности, встречаются и другие варианты конструктивных недостатков, например, высокая повреждаемость под действием солнечных лучей или температурных перепадов. От таких подвохов при покупке изделий малоизвестных фирм застраховаться достаточно трудно.

Конверторы либо выпускаются отдельно, со встроенным поляризатором, либо конструктивно объединенные с поляризатором и облучателем. В первом случае конвертор заканчивается прямоугольным фланцем, во втором — круглым, а в третьем, разумеется, — облучателем.

Последний вариант, как правило, встречается с офсетным облучателем. Это связано с тем, что подобные конструкции ориентированы на использование в индивидуальных системах с небольшими офсетными антеннами. При выборе облучателя или конвертора, совмещенного с облучателем, надо убедиться, что по форме он стыкуется с вашей антенной.

Причем внимание надо обратить не только на тип антенны — офсетная она или прямофокусная. Важен и такой параметр, как отношение фокусного К диаметру антенны (F/D). У офсетных антенн параметр может принимать значения от 0,6 до 0,8. Для них выпускаются два типа облучателей — с соотношением F/D, равным 0.6 - 0.7 или 0.7 - 0.8. У прямофокусных антенн это соотношение колеблется в диапазоне 0.3 - 0.5. Для таких антенн иногда выпускаются облучатели, подстраиваемые под конкретное соотношение F/D. Лучше всего купить антенну в комплекте с облучателем, так как в этом случае будет гарантирована их полная совместимость.

Выбор поляризатора зависит от типа подвески. В случае использования полярной подвески с актуатором необходима плавная подстройка поляризации (магнитный или механический поляризатор). Если же перенацеливание антенны не предусмотрено, то подойдет конвертор с переключением вида поляризации У или Н.

Если вы решили осуществлять прием в С- и Ки-диапазонах, то возможно три варианта. В первом на антенне необходимо установить два конвертера, каждый со своим облучателем и поляризатором. При этом, если облучатель хотя бы одного конвертора окажется не в фокусе антенны, то это несколько снизит коэффициент направленного действия антенны. Во втором варианте необходимо установить С/Ки-ротор, в состав которого находят облучатели для С- и Ки-диапазонов, разделяющие принимаемый нот на две части. С/Ки-роторы выпускаются совмещенными с электромеханическими поляризаторами. Эта конструкция делает систему более дешевой и упрощает

процесс монтажа. Однако в этом случае увеличиваются потери мощности сигналов Ки-диапазона. В третьем варианте возможна установка совмещенного конвертора для С- и Ки-диапазонов, однако пока ом имеют более низкие характеристики.

Следующий шаг— выбор приемника. Прежде, чем принять решение относительно какой-либо модели, необходимо разобраться, какими функциональными возможностями он должен обладать. Тем более, что одни и те же модели могут иметь различные сервисные возможности, что, естественно сказывается и на цене.

Остановимся на основных функциональных возможностях, которыми дол жен обладать спутниковый приемник. Важным фактором является диапазон частот входного сигнала, который должен соответствовать ПЧ1 на им ходе конвертора. В случае использования приемника с полосой часто 700-2150 МГц и универсального конвертора возможен прием во всем Ки диапазоне (10,70-12,75 ГГц). Если антенна имеет фиксированную подвеску и направлена на один спутник то для переключения вида поляризации спутниковый приемник должен обеспечить наличие коммутирующего напряжения 13/18 В, подаваемого по коаксиальному кабелю в конвертор.

Если планируется использование подвесок с электроприводом, то необходимо иметь возможность управления магнитным или механическим поляризатором.

Для переключения поддиапазонов конвертора в спутниковом приемник предусмотрен тоновый сигнал 22 кГц, а для управления различными внешними устройствами — 0 (12) В, 60 Гц и 60 кГц.

В современных моделях все большее применение находят протоколы DiSEqC, которые позволяют организовать управление несколькими конверторами электроприводом и т. д.

Для улучшения качества применяемого сигнала (при малом значении отношения сигнал/шум) многие спутниковые приемники позволяют осуществлять ступенчатое понижение статического порога, приводящее, однако, к уменьшению амплитуды видеосигнала ПЧ. Это позволяет отфильтровать импульсные помехи, однако цветное изображение становится менее насыщенным и бледным.

Аналогично можно улучшить качество звукового сопровождения. При сужении ПЧ звукового тракта понижается уровень помех, но качество звука Для высококачественного **ухудшается**. приема сигналов звукового сопровождения большинства спутниковых программ приемник должен обеспечивать коррекцию наиболее распространенных (50, 75 мкс и Л 7) аудиосигнала. предыскажений Очень полезными являются системы шумопонижения Wegener Panda, DNR, Adaptiv.

В спутниковом приемнике могут быть предусмотрены следующие сервисные возможности: таймер для включения и выключения приемника в определенное время, «родительский ключ» для исключения допуска детей к некоторым программам, память на определенное число каналов (99— 1500 и более), дисплей на передней панели, экранная графика, телетекст и др.

# Установка спутникового оборудования

В зависимости от типа выбранной антенной подвески (фиксированная или перенацеливаемая) возможны два варианта проведения монтажа, отраженные в табл. 8.2 и 8.3.

Таблица 8.2. Установка системы спутникового ТВ с фиксированной антенной подвеской

Nº n/n	Наименование операции	Выполняемые действия	
1	Выбор места установки	Определение места расположения антенны с условием свободного обзора в направлении выбранного спутника	
2	Установка опорного устройства	Монтаж опоры в выбранном месте: на стене дома, крыше, дачном участке	
3	Расчет и укладка кабеля	Выбор необходимого типа коаксиального кабеля в зависимости от расстояния между антенной и приемником, расчет его длины и укладка	
4	Сборка и установка рефлектора	Установка облучателя и конвертора на рефлекторе с дальнейшим его креплением на опорном устройство	
5	Монтаж кабеля	Подключение коаксиального кабеля к конвертору и спутниковому приемнику	
6	Выставление углов	Первоначальное выставление азимута и угла места	
7	Предварительное программирова- ние спутникового приемника	Настройка приемника на частоту одного из каналов	
8	Точная настройка антенны	Установка азимута и угла места по максимальному значению сигнала	
9	Полное программирование спутникового приемника	Настройка приемника на все каналы, принимаемые с данного спутника	

Таблица 8.3 Установка системы спутникового ТВ с перенацеливаемой полярной подвеской

<b>N</b> º n/n	Наименование операции	Выполняемые действия
1	Выбор места установки	Определение места расположения антенны с условием свободного обзора участка геостационарной орбиты и отсутствием препятствий к вращению антенны данного диаметра
2	Установка опорного устройства	Монтаж опоры в выбранном месте: на стене дома, крыше, дачном участке. В зависимости от конструкции должны быть соблюдены соответствующие требования по ее ориентации
3	Расчет и укладка кабеля	Выбор необходимого типа коаксиального кабеля в зависимости от расстояния между антенной и приемником, расчет его длины и укладка
4	Сборка рефлектора	Установка облучателя, поляризатора и конвертора на рефлектор
5	Установка электропривода	Монтаж и установка в зависимости от выбранного типа электропривода
6	Установка рефлектора	Монтаж антенного отражателя в сборе с поляризатором, облучателем и конвертором на опорно-поворотном устройстве
7	Подключение кабеля	Подключение коаксиального кабеля к конвертору и приемнику, силовых кабелей — к электроприводу и поляризатору
8	Выставление углов	Первоначальная установка всех необходимых углов опорно-поворотного устройства
9	Предварительное программирование спутникового приемника	Настройка приемника на частоту одного из каналов, передаваемых со спутника, находящегося в крайней левой позиции видимой части геостационарной орбиты, по центру и в крайней правой позиции
10	Точная настройка антенны	Установка всех необходимых углов по максимальному значению сигналов, принимаемых со всех спутников в видимой части геостационарной орбиты
11	Полное программирование спутникового приемника	Настройка приемника на все каналы, принимаемые со всех видимых спутников

## Выбор места установки

Установка спутниковой антенны должна начинаться с выбора места установки, к которому предъявляются следующие требования:

- В направлении приема в пределах телесного угла ±5° не должно быть никаких затеняющих предметов: деревьев, крыш зданий, труб, линий электропередач и т. д., так как любая преграда может поглощать или, отражать электромагнитный сигнал, что приводит к снижению уровня принимаемого сигнала
- Необходимо обеспечить, по возможности, минимальное расстояние между антенной и телевизором (до 70—100 м). От этого расстояния, а также от типа применяемого коаксиального кабеля зависит необходимость установки дополнительного усилителя, чего, по возможности, следует избегать
- Необходимо иметь свободный доступ к антенне для вас и максимально затрудненный для посторонних, поскольку

антенна вполне может быть предметом посягательства со стороны «закононепослушных» граждан

Все эти требования часто могут противоречить друг другу, поэтому требуется найти компромиссное решение. При оценке места установки следует учитывать ряд факторов, которые в будущем могут повлиять на качество прима, например:

- При установке зимой необходимо помнить, что летом на деревьях появятся листья, которые значительно ухудшат прием
- Если в направлении приема строится здание, то по завершении строительства возможен вариант полного затенения выбранного спутника

В случае установки полярной подвески с возможностью перенацеливания на несколько спутников должно быть обеспечено свободное вращение антенны в выбранном секторе обзора.

## Установка опорного устройства

В зависимости от выбранного места установки, диаметра антенны и ее массы необходимо использовать соответствующее опорное устройство. Условно эти конструкции можно разделить на три группы, предназначенные для установки:

- На стене здания
- На крыше
- На приусадебном участке

## Установка опорного устройства на стене здания

Технология монтажа опорного устройства на стене здания, а также сама опора должны обеспечивать надежное крепление антенны и выдерживать не только ее вес, но и дополнительно возникающие ветровые нагрузки. На рис.8.1 представлено типовое опорное устройство для антенн диаметром до 1 м. В зависимости от веса антенны с подвеской и толщины стены здания возможны два варианта крепления:

- Перфоратором высверливаются сквозные отверстия в стене, и опора крепится обычными болтами, как показано на рис. 8.1 (наиболее надежный способ)
- Крепление опоры к стене производится при помощи саморасклинивающихся метизов (рис. 8.2 и 8.3)

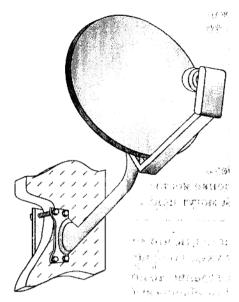
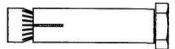
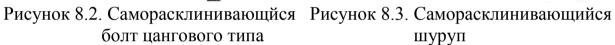


Рисунок 8.1. Типовое крепление опорного устройства к стене здания





## Установка опорного устройства на крыше здания

Существуют разнообразные способы крепления опоры на крыше здания. При выборе окончательного варианта основное внимание следует уделить материалу и толщине перекрытий, особенно если это дом дачного типа. На рис. 8.4 изображено типовое крепление опорного устройства на коньке крыши.

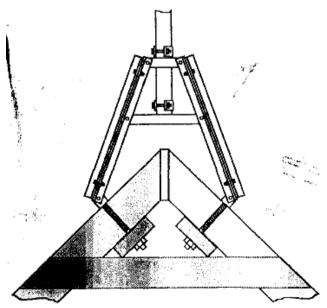


Рисунок 8.4. Установка опорного устройства на коньке крыши здания

Особое внимание в этом случае следует обратить на толщину стропил, диаметр и вес антенного устройства, так как при сильных ветровых нагрузках возможно повреждение перекрытий. Для предупреждения таких аварийных ситуаций необходимо усилить опорное устройство дополнительными стойками.

Вариант крепления опоры на наклонном участке крыши представлен на рис. 8.5. В этом случае также необходимо обеспечить требуемую жесткость конструкции. Особенностью такой установки является возможность регулирования одного плеча опоры в зависимости от угла наклона крыши, диаметра антенны и соответствующей ей высоты вертикальной стойки.

В случае если конструкция и материал здания не позволяют обеспечить соответствующую жесткость крепления (например, летний дачный домик), то оптимальной будет установка вертикальной стойки вдоль стены здания (рис. 8.6, а—в).

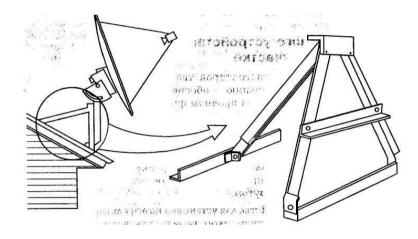


Рисунок 8.5. Установка опорного устройства на наклонном участке крыши

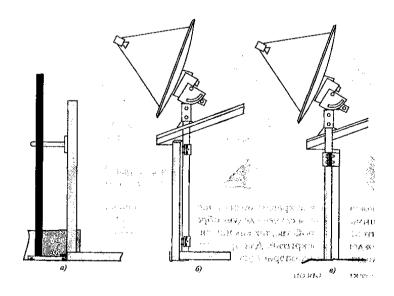


Рисунок 8.6. Установка вертикальной стойки вдоль стены здания

#### Установка опорного устройства на приусадебном участке

Различные конструкции опорного устройства для установки на земле подчинены одному общему требованию — обеспечению необходимой устойчивости, что возможно только на прочном фундаменте. Поэтому для надежного крепления опоры, как правило, применяют бетон. Наиболее простой способ установки опорного устройства представлен на рис. 8.7. В этом варианте для достижения необходимой жесткости конструкции в земле роют специальный шурф глубиной около 1м и диаметром 0,5м. При помощи отвеса опору устанавливают строго вертикально и шурф заливают бетоном. Для увеличения прочности бетонное основание желательно армировать металлическим прутом.

Существуют разборные устройства для установки на асфальтированном участке земли (рис. 8.8). Достоинством такого варианта является простота конструкции, мобильность и легкость настройки.

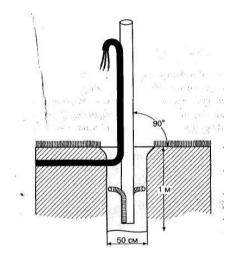


Рисунок 8.7. Способ установки опорного устройства на земле

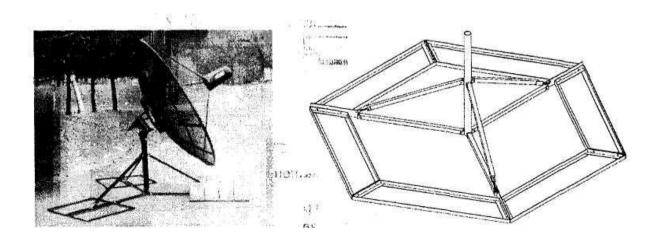


Рисунок 8.8. Наземные разборные конструкции фирмы KTI (Kaul-Tronics, Inc.)

Подобный способ установки опорного устройства рекомендуется применять для не слишком тяжелых антенн диаметром до 1м. В случае необходимости монтажа большей антенны, особенно с поворотным устройством, следует использовать вариант, изображенный на рис. 8.9, а, б. Здесь большая степень устойчивости достигается благодаря четырем бетонированным опорам, размещенным в углах квадрата. Из каждой опоры выступает металлический прут с резьбой для крепления крестообразного металлического основания с жестко приваренной к нему вертикальной стойкой.

При помощи отвеса производится точная регулировка вертикальной оси, после чего конструкция закрепляется путем затягивания гаек. Достоинством конструкции является возможность подстройки вертикальной оси.

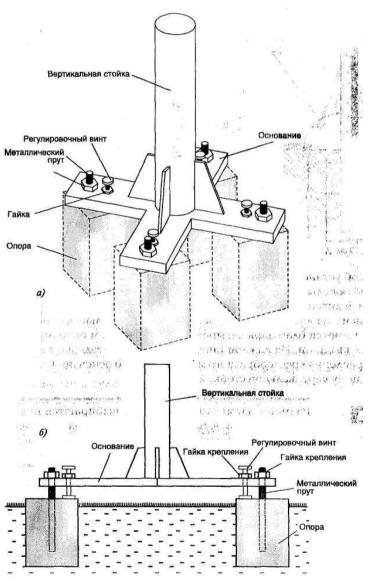


Рисунок 8.9. Установка опорного устройства повышенной устойчивости на земле

## Сборка рефлектора, облучателя и конвертора

Рефлектор, облучатель и конвертор — наиболее критичные компоненты любой спутниковой приемной системы. Если они неправильно установлены или неточно настроены, то использование даже самого лучшего и дорогого спутникового приемника не позволит получить высококачественное изображение на экране телевизора.

Сборка рефлектора должна производиться согласно прилагаемой к нему монтажной инструкции. Перед началом работы следует убедиться, что имеются в наличии все составные части, есть необходимый инструмент и вам понятны все действия по сборке.

В процессе сборки рефлектора особое внимание следует обратить на его крепление к элементам подвески. Штампованные зеркала всегда имеют для этого соответствующие отверстия. Затяжка болтов должна производиться с известной долей осторожности, чтобы на антенном отражателе не образовалась впадина. До и после установки рекомендуется проверить рефлектор на наличие искривлений. Делается это достаточно простым способом: вдоль диаметра зеркала натягиваются две нитки, как показано на рис. 8.10. В случае отсутствия каких-либо искривлений нитки будут слегка касаться друг друга в точке их пересечения. К тому же, точка пересечения укажет на центр рефлектора, куда должен быть направлен облучатель. Искажение формы зеркала даже на несколько миллиметров приведет к заметному снижению уровня сигнала и ухудшению изображения.

Следующим этапом является сборка облучателя, конвертора и, если требуется, механического или магнитного поляризатора. Основным требованием при их монтаже является применение специальных прокладок между фланцами. Главное их предназначение заключается в защите от проникновения воды внутрь волновода. Следует избегать применения дополнительных слоев какого-либо материала, так как необходимо обеспечить контакт «металл —металл» между элементами волноводного тракта, а также не нарушить волновое согласование между ними.

Далее следует установить срез облучателя точно в фокусе антенны (рис. 8.11). Как правило, такое положение облучателя предусмотрено устройством держателя, однако допускается некоторый люфт для точной настройки. Наиболее удобным является вариант, когда после установки имеется свободный доступ к элементам антенны и можно производить ее подстройку. Это относится как к прямофокусной, так и к зеркальной антенне. Сложнее обстоит дело в случае, когда антенна в дальнейшем станет малодоступной, например, при установке на стене здания. Тогда можно довериться инструкции по монтажу или продавцу. Если вы никому не доверяете, то остается единственный вариант: провести «экспериментальную» установку в доступном месте, настроить облучатель с конвертором, а затем установить антенну окончательно в выбранном вами труднодоступном месте.

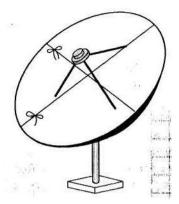


Рисунок 8.10. Проверка рефлектора на наличие искривлений

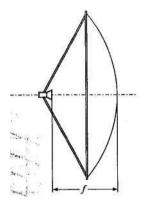


Рисунок 8.11. Установка облучателя в фокусе антенны

Если вы приобрели конвертор со встроенным поляризатором (V или H), используемым для фиксированных систем, то часто необходимо осуществить поворот конвертора для более точной подстройки по поляризации. Для работы с достаточно мощным сигналом в зоне уверенного приема этой настрой кой, в принципе, можно пренебречь, однако если вы находитесь на краю зоны обслуживания, а спутник-ретранслятор расположен невысоко над горизонтом, то лучше всего подстроить угол поворота по максимальному уровню сигнала. Положение конвертора относительно спутника в конкретном месте установки поясняет рис. 8.12, а рис. 8.13 позволяет определить угол поворота а в зависимости от географических координат места установки антенны (широта и долгота) и расположения спутника (долгота).

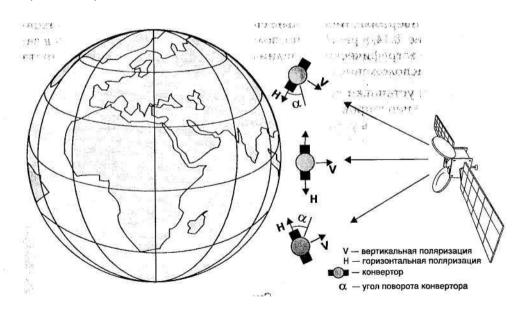


Рисунок 8.12. Поворот конвертора относительно спутника-ретранслятора

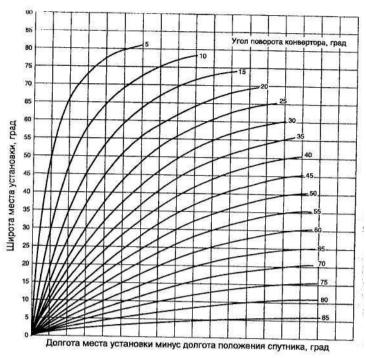


Рисунок 8.13. Зависимость угла поворота конвертора от места его установки и точки расположения спутника-ретранслятора

точной установки среза облучателя в Кроме фокусе зеркала, необходимо обеспечить его центрирование. Точность проведения этой операции важна так же, как и точность установки облучателя. Наиболее удобно производить процесс настройки при помощи «фокального искателя» (рис. 8.14), который закрепляется на облучателе. Телескопический стержень в выдвинутом положении при правильной установке должен точно указывать центр зеркала. Для выполнения подобной операции необходимо предварительно найти центр зеркала, который должен быть помечен соответствующей меткой либо отверстием. В случае необходимости можно произвести настройку (если это позволяет конструкция) по максимальному уровню сигнала.

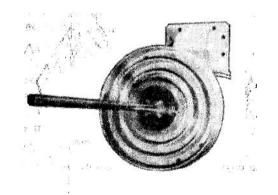


Рисунок 8.14. Центровка облучателя при помощи «фокального искателя»

Одно из преимуществ (и одновременно недостатков) современных небольших антенн состоит в том, что рефлектор, крепление и облучатель являются цельными конструкциями. Их сборка совершенно проста, однако нет пика кой возможности корректировать фокусное расстояние или проводить центрирование. Здесь уже все зависит от качества заводской сборки, так как все настройки исключены.

## Установка электропривода полярной подвески

Монтаж линейного привода производится после того, как рефлектор закреплен на подвеске, а в этом случае возможен ее обрыв и, как следствие, попадание влаги внутрь механизма привода. Это может привести к скорому выходу привода из строя. Основной причиной неисправностей привода является наличие в нем воды.

При регулировке выдвижения штока необходимо помнить, что должен обеспечиваться просмотр всей видимой части геостационарной орбиты. Производится она путем выбора места крепления привода установочным хомутом подвески (рис. 8.15), причем угол между штоком привода и тыльной частью рефлектора должен составлять примерно 30°.

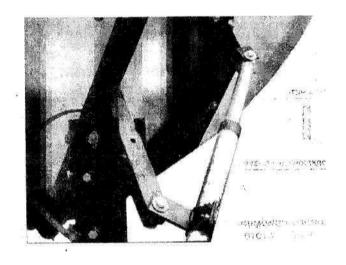


Рисунок 8.15. Установка линейного привода

В случае установки электропривода «горизонт —горизонт» сначала производится ого монтаж на опоре при помощи затяжных гаек, и только после этого — закрепление рефлектора.

Кабели питания электропривода и поляризатора располагаются таким образом, чтобы при любом положении антенны не происходило их натяжения или зацепления элементами подвески, так как это может привести к обрыву.

#### Подключение кабелей

Все подключения производятся в соответствии с принципиальной электрической схемой и при отключенном напряжении питания. Выполнение этого требования необходимо, так как, посмотри на довольно низкое напряженно питания приводов (обычно 24 или 36 В), их источники питания рассчитаны на высокий выходной ток (1,5—6А). Напомним, что смертельным для человека является ток величиной всего лишь 110 мА. Дополнительную опасность может представлять эта работа на высоте, особенно влажными руками (например, во время дождя). Подключение элементов схемы под напряжением может привести к обгоранию контактов и выходу из строя элементов схемы. Кабели питания должны быть во влагозащитном исполнении, а место ввода в корпус привода — изолировано от попадания влаги.

Подключение спутникового приемника к телевизору и видеомагнитофону может быть произведено как по высокой частоте (рис. 8.16, а), так и по низкой (рис. 8.16, б). Наиболее предпочтителен будет последний вариант, поскольку в этом случае отсутствует дополнительное преобразование частоты.

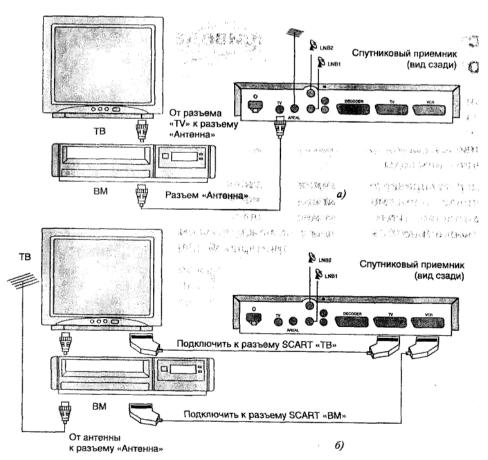


Рисунок 8.16. Подключение спутникового приемника: а — по высокой частоте; б— по низкой частоте

## Предварительная установка азимута и угла места

Наиболее просто установка азимута и угла места производится в фиксированной антенной системе. Для измерения угла места можно использовать либо простой отвес с транспортиром, как показано на рис. 8.17, либо специальный угломерный прибор с магнитным основанием (рис. 8.18). Определение азимутального угла производится при помощи компаса.

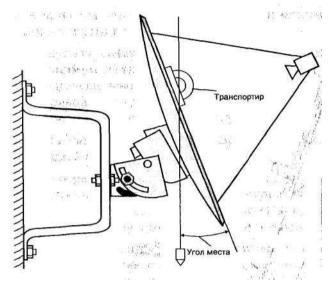


Рисунок 8.17. Установки угла места при помощи отвеса и транспортира

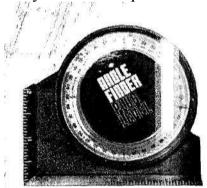


Рисунок 8.18. Угломерный прибор с магнитным основанием

Расчет азимута и угла моста выбранного спутника в конкретном месте установки может быть произведен либо по формулам, приведенным в приложении, либо по номограмме, представленной на рис. 8.19, либо при помощи специальных компьютерных программ (см. CD-ROM «Энциклопедия спутникового ТВ»).

После того, как требуемые углы предварительно выставлены, следует лишь слегка затянуть соответствующие болты, так как в дальнейшем будет производиться корректировка положения антенны.

Более сложной является установка углов в перенацеливаемой полярной подвеске. Перед началом работ необходимо ознакомиться с принципом действия полярной подвески и понять назначение каждого из углов. При настройке рекомендуется использовать угломерный прибор с магнитным основанием, как это показано на рис. 8.20.

Точная настройка углов, рассмотренная ниже, производится после предварительного программирования спутникового приемника.

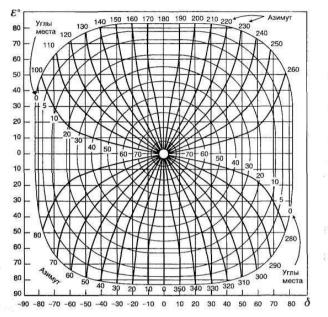


Рисунок 8.19. Номограмма для определения азимута и угла места спутника в зависимости от места установки

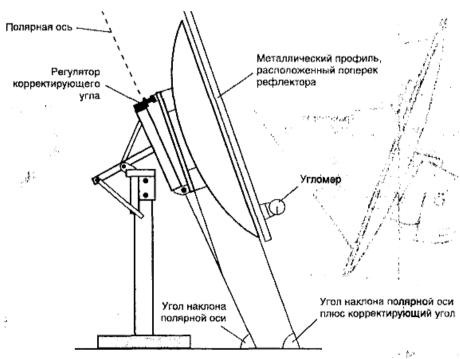


Рисунок 8.20. Настройка углов полярной подвески

# 8.2.Измерительное оборудование для спутникового телевидения

Аппаратура спутникового телевидения представляет собой весьма сложное радиотехническое оборудование. Несмотря на небольшие габариты, она состоит из огромного числа электронных элементов, объединенных с помощью оригинальных схемных решений. Качество работы этой аппаратуры, оцениваемое в итоге качеством изображения на экране телевизора, зависит от очень многих факторов.

Процесс настройки оборудования не только требует знаний, не только и опыта, но и предполагает наличие соответствующей измерительной техники, без которой очень сложно идеально настроить приемный комплект.

Необходимо также отметить, что выбор приемного оборудования (например, антенны) будет более грамотным после проведения соответствующих измерений в конкретном месте будущей его установки.

Широкий ассортимент оборудования позволяет выбрать прибор любого класса, удовлетворяющий практически любым требованиям, с вполне приемлемым показателем «технические параметры/стоимость».

Большинство приборов универсальны, они позволяют производить измерение параметров сигналов, анализировать их и осуществлять настройку систем спутникового, эфирного и кабельного телевидения. Измерения могут быть выполнены в каждой из трех составляющих телевизионного тракта: антенной, усилительной и распределительной системах.

Семейство измерительных приборов условно можно разделить на две группы:

- Со стрелочным индикатором уровня сигнала
- Со встроенным монитором

Все измерительные приборы, как правило, укомплектованы аккумуляторами, зарядным устройством, разъемами и переходниками под различные виды штекеров и снабжены нейлоновым чехлом. Лицевая панель обычно делается пылеводонепроницаемой.

# Приборы со стрелочным индикатором

Наиболее простые приборы позволяют производить измерения уровня сигнала в диапазоне 950 — 2050 МГц первой промежуточной частоты и имеют встроенный звуковой индикатор, тон звука которого зависит от уровня сигнала. Одновременно можно измерять напряжение питания конвертора в диапазоне 12 — 21 В. Вес таких устройств составляет всего 150 — 200г.

На рис. 8.21 показан типичный представитель данного класса приборов PROMAX MS-250.



Рисунок 8.21. PROMAX MS-250

Развитие индивидуальных систем спутникового телевидения и построение на их основе распределительных сетей привело к необходимости создания измерительных приборов, которые позволяют производить измерения в диапазоне частот 46 — 2150 МГц. Наиболее характерным представителем приборов данного класса является PROMAX МС-360 (рис.8.22). Он позволяет измерять уровни сигнала в частотном диапазоне 46 — 2050 МГц, в котором работает аппаратура как эфирного, так и спутникового телевидения.

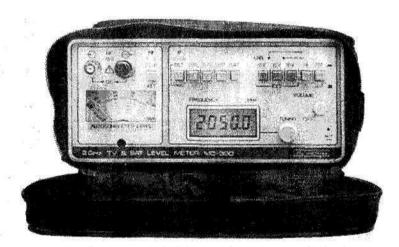


Рисунок 8.22. PROMAX MC-360

Приборная панель PROMAX MC-360 очень удобна в работе. Цифровой индикатор частоты с разрешением 100 кГц и расположенный рядом стрелочный индикатор уровня сигнала позволяют быстро оценить полученные результаты измерений.

Если при настройке антенны возникают трудности из-за необходимости постоянного контроля за стрелочным индикатором, PROMAX MC-360 позволяет определять направление максимума сигнала по изменению тона сигнала звукового индикатора.

При настройке спутниковой антенны с конвертором прибор вырабатывает для его питания напряжения 12, 15, 18 В. Заряда аккумуляторов хватает на непрерывную работу в течение 5 часов. PROMAX MC-360 благодаря своим функциональным возможностям, неболь-

шим размерам и весу, а также по соотношению «функциональные возможности/стоимость» является оптимальным для установки и настройки спутниковых, эфирных и кабельных телевизионных систем.

## Измерительные приборы с монитором

Большое практическое значение при проведении измерений имеет использование встроенного монитора (черно-белого или цветного), который выполняет роль, как телевизионного экрана, так и измерительной шкалы при измерении уровня сигнала и параметров синхроимпульса. Частота принимаемого сигнала отображается на жидкокристаллическом индикаторе. Одним из представителей данного класса является прибор UNAOHM EP507.

Модель ЕР507 (рис.8.23) — это воплощение самых современных технологических достижений, что является необходимым условием для профессиональной аппаратуры. В приборе реализованы последние достижения области электроники И спутникового телевидения. Особенностью прибора является возможность проведения измерений цифровых сигналов. Цветной монитор с размером по диагонали 6 дюймов обеспечивает просмотр изображения в любом из стандартов цветного телевидения: PAL, SECAM, NTSC. С помощью встроенного декодера телетекста можно определить влияние сигналов телетекста на качество ТВизображения. Канал, частота и программа могут быть установлены путем нажатия всего лишь одной кнопки, разумеется, если предварительно все данные были занесены в память. Ввод данных осуществляется вручную или автоматически. Индикация режимов производится при помощи алфавитноцифрового дисплея (16 разрядов, 2 линейки), который предназначен для отображения следующих параметров сигналов (независимо от выбора иного режима работы): частоты, номера канала, номера записанной программы (конфигурации прибора) и значения коэффициента ослабления аттенюатора. Прибор позволяет производить измерения сигналов спутникового и эфирного телевидения и частотно-модулированных радиосигналов в диапазоне 46 — 2150 МГц. Высокая чувствительность позволяет работать со слабыми сигналами в зонах неуверенного приема. При помощи встроенного принтера можно распечатать результаты измерений: номер канала или программы, значения частоты и уровня сигнала (дБ), время и дату измерений.

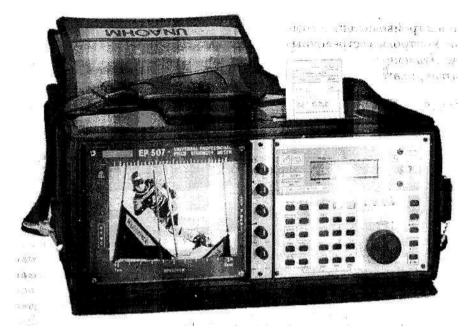


Рисунок 8.23. UNAOHM EP507

## Аксессуары к измерительным приборам

*Малошумящий усилитель*. Позволяет расширить диапазон измерений для анализаторов спектра и измерителей уровня сигнала, за счет измерения сигналов низкого уровня.

*Контроллер поляризации*. Предназначен для управления ферритовыми поляризаторами. Питание осуществляется через входной разъем без прерывания питания конвертора.

Генератор шума. Как правило, генерирует сигнал с очень широким частотным спектром и предназначен для работ по установке различных устройств кабельного и спутникового телевидения.

Используя генератор шума совместно с измерителем уровня сигнала или спектроанализатором, можно оценить затухание сигнала и выявить аномалии в линиях передачи.

Генератор сигналов для спутниковых приемников. Является компактным, простым в использовании и дешевым генератором сигналов, который позволяет эффективно проверять спутниковые приемники и конверторы при помощи тестового сигнала. Многие модели дополнительно генерируют также аудио-несущий сигнал.

Типовая схема включения генератора сигналов приведена на рис. 8.24

Внешний модуль 22 к $\Gamma$  $\mu$ . Это небольшое дополнительное устройство подсоединяется к конвертору и позволяет генерировать коммутирующий сигнал (22 к $\Gamma$  $\mu$ ), необходимый для задания режима работы некоторых конверторов (частоты, поляризации и т. д.).

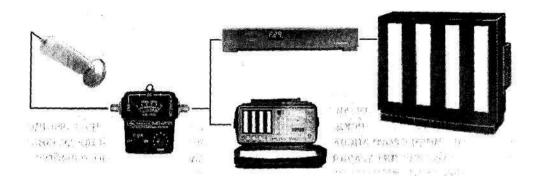


Рисунок 8.24. Типовая схема включения генератора сигналов

#### Вопросы для самопроверки

- 1. С чего необходимо начать при выборе спутникового оборудования?
- 2. Какие имеются разновидности конструкций антенн спутниковой установки? В чем заключается преимущество одних типов антенн перед другими?
- 3. Для чего необходимо учитывать фокус антенны?
- 4. Какой тип крепления антенны является наиболее приемлемым? Почему?
- 5. Какие факторы необходимо учитывать при выборе конвертора?
- 6. Каким образом осуществляется выбор приемника?
- 7. Какие отличия возникают при установке систем спутникового ТВ с фиксированной антенной подвеской и с перенацеливаемой полярной подвеской?
- 8. Как факторы необходимо учитывать при выборе места установки антенны?
- 9. Какие существуют способы установки опорного устройства?
- 10. Какими методами осуществляется сборка рефлектора, облучателя и конвертора?
- 11. Как осуществляется подключение кабелей к спутниковому приемнику?
- 12. Какие приборы со стрелочными индикаторами являются наиболее применяемыми?
- 13. Какие достоинства имеют измерительные приборы с мониторами?
- 14. Какие аксессуары входят в комплект измерительных приборов?

# Литература:

- 1. Левченко В.Н. Спутниковое телевидение. СПб.: ВНV-Санкт-Петербург, 1998. 288с.: ил.
- 2. Левченко В.Н. Спутниковое телевидение в вашем доме. Полигон, СПб., 1998. 272с.: 150ил.
- 3. Стивенсон Д. Спутниковое ТВ. Практическое руководство: Пер. с англ. М.: ДМК Пресс, 2001. 496с.: ил.