

Дерек Стивенсон

СПУТНИКОВОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ

В ВАШЕМ ДОМЕ



Обзор современных
систем
спутникового ТВ

Установка,
настройка
и подключение

Ремонт
спутникового
оборудования

Дерек Стивенсон

Спутниковое телевидение в вашем доме

6-е издание, электронное

DEREK J. STEPHENSON

GUIDE TO SATELLITE TV

4^e EDITION



 **Newnes**

ДЕРЕК СТИВЕНСОН

СПУТНИКОВОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ В ВАШЕМ ДОМЕ

Под редакцией Данилина А. А.

6-е издание, электронное



DMK
издательство

Москва, 2023

УДК 621.397.444

ББК 32.947

С80

Стивенсон, Дерек.

С80 Спутниковое телевидение в вашем доме / Д. Стивенсон ; под ред. А. А. Данилина ; пер. с англ. — 6-е изд., эл. — 1 файл pdf : 433 с. — Москва : ДМК Пресс, 2023. — Систем. требования: Adobe Reader XI либо Adobe Digital Editions 4.5 ; экран 10". — Текст : электронный.

ISBN 978-5-89818-367-7

Данная книга является одновременно и руководством, и своего рода энциклопедией по всему кругу вопросов, касающихся спутникового телевидения.

Наряду с теоретическими основами, разъяснением основных понятий и терминов, применяющихся в спутниковом ТВ, в книге приводятся многочисленные практические советы. Подробно рассмотрены системы и стандарты ТВ. Представлены основные соотношения и формулы для вычислений необходимых параметров, расчет ведется последовательно на конкретных примерах. Даны подробные описания измерительной и приемной аппаратуры, антенных устройств, а также разъяснения принципов их работы с приведением структурных схем. В приложениях представлен обширный справочный материал: глоссарий используемых терминов, информация по программному обеспечению, которое может быть использовано для расчетов линии связи и получения сведений по различным аспектам спутникового приема, а также таблицы с параметрами спутниковых каналов.

Книга рассчитана как на читателя, не имеющего специальных знаний в данной области, но интересующегося вопросами спутникового приема, так и для технических специалистов, занимающихся разработкой или обслуживанием систем спутникового ТВ.

УДК 621.397.444

ББК 32.947

Электронное издание на основе печатного издания: Спутниковое телевидение в вашем доме / Д. Стивенсон ; под ред. А. А. Данилина ; пер. с англ. — 5-е изд., перераб. и доп. — Москва : ДМК Пресс, 2015. — 432 с. — ISBN 978-5-97060-276-8. — Текст : непосредственный.

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации.

ISBN 978-5-89818-367-7

© Guide to Satellite TV by Derek J. Stephenson
Reed Educational & Professional Publishing
LTD

© Перевод на русский язык, оформление.
ДМК Пресс

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	16
Глава 1. Обзор спутникового ТВ	18
Основные термины и понятия	19
Синусоидальные электромагнитные волны	19
Синусоидальная волна	19
Угловая скорость	20
Длина волны	21
Несущая частота	21
Амплитудная модуляция	22
Коэффициент модуляции	23
Боковые полосы частот	23
Частотная модуляция	24
Девиация частоты	25
Индекс модуляции	25
Шумы Джонсона	25
Отношение сигнал/шум	26
Сравнение ЧМ и АМ	26
Децибелы	27
Напряжение, выраженное в децибелах	29
Спутниковое ТВ Ku-диапазона	29
Пояс Кларка	29
Линия связи вверх	29
Линия связи вниз	30
Микроволны и место приема сигналов	32
Антенна	32
Антенные подвески	33
Рупорный облучатель	34
Поляризация	34
Поляризаторы	36
Малозумящий блок	37
Спутниковые приемники	37
Эффективная изотропно-излучаемая мощность и карты зоны обслуживания	37
Потери при прохождении сигнала в свободном пространстве	39
Ослабление в дожде	40
Шумы и их воздействие	40
Распределение частот на линии связи вниз	41
Цифровое ТВ вещание	41

Глава 2. Антенны	43
Параболические рефлекторы	44
Коэффициент усиления параболического рефлектора	45
Факторы, оказывающие влияние на работу антенны	46
Лепестки диаграммы направленности и ширина луча	47
Эффективность антенны	50
Шумы антенны	51
Облучение, шумы и отношение f/D	52
Прямофокусные антенны	54
Антенны со смещенным фокусом	54
Антенна Кассегрена	54
Антенна Грегори	57
Антенна с отражателем	57
Плоская антенна	58
Двусторонние зеркальные антенны	59
Линзы	59
Антенные решетки S-диапазона типа «волновой канал»	61
Нацеливание антенн электронным способом	63
Антенные подвески	63
Фиксированные антенные подвески AZ/EL	63
Модифицированная полярная антенная подвеска	64
Антенные подвески типа «горизонт–горизонт»	70
Роботизированные антенные подвески AZ/EL	71
Моторизованные позиционные системы	71
Антенны с несколькими облучателями	73
Технология изготовления антенны	76
Раскатка	76
Штамповка	76
Впрессовка фольги в стекловолокно	76
Окрашивание	76
Покрытие	77
Визуальное воздействие антенн	77
Стеклянные антенные рефлекторы	77
Сетчатые антенные рефлекторы	78

Нарушения радиосвязи под воздействием солнечного излучения	78
Глава 3. Головки облучателей, кабели, линейные усилители и соединительные устройства	80
Головки облучателей	80
Зачем нужны рупорные облучатели и блоки LNB	80
Основные принципы работы волновода	82
Прямоугольные волноводы	82
Сопrotивление волновода	85
Рупорный облучатель антенны	87
Круглые волноводы	87
Компоненты волновода	88
Облучатели	91
Скалярные кольца	92
Смещенные облучатели	93
Диэлектрические антенные облучатели	93
Отклонение главного лепестка	95
Поляризация	96
Линейные поляризаторы	96
Круговые поляризаторы	97
Отклонение поляризации	98
Малозумящий блок	99
Малозумящие усилители	101
Коэффициент шума и шумовая температура	102
Блок понижающих преобразователей частоты	103
Универсальные блоки LNB	104
Фазовый шум гетеродина	105
Кабели	107
Соединители	108
Затухание кабеля и линейные усилители	109
Линии передачи сигнала	112
Характеристическое сопротивление	112
Коэффициент отражения	113
Узлы и пучности	113
Коэффициент стоячей волны	114
Коаксиальный кабель	115

Параллельные двухпроводные линии передачи	117
Четвертьволновые штыри	117
Линии передачи как реактивные элементы	118
Глава 4. Спутниковые приемники.	
Кодирование сигнала	119
Используемые термины и сокращения	119
Приемники системы DVB	121
ВЧ – тюнер/демодулятор	123
Блок индикации	124
Блок питания	126
Микропроцессор	127
Стандартный разъем типа SCART	130
Стандартное AV-подсоединение выводов разъема SCART	130
ВЧ модулятор	131
Слот для установки смарт-карты или CAM модуля	132
Кодирование сигнала	132
Необходимость защиты	134
Основные принципы кодирования	135
Просмотр закодированных каналов.	
Смарт-карты и модули	136
Глава 5. Расчет линии связи	139
Средства для вычислений	141
Подробный расчет линии связи	142
Факторы, влияющие на прием сигнала со спутника	143
Расположение места приема по отношению к позиции спутника	144
Магнитный азимут	146
Протяженность линии связи вниз	147
Длина волны	147
Потери при прохождении сигнала в свободном пространстве	147
Коэффициент усиления антенны	148
Общая шумовая температура приемной системы	148
Частичная проницаемость	149
Доступность сигнала и рабочие запасы	156
Возрастание шумов из-за выпадения осадков и поглощения в атмосфере	157
Номинальный коэффициент добротности	159
Используемый коэффициент добротности	160

Вычисление потерь из-за неточного наведения антенны	161
Эффективная изотропно-излучаемая мощность	162
Отношение несущая/шум	163
Отношение сигнал/шум	164
Аналоговые ТВ системы	166
Полоса частот	167
Девиация	168
Вычисление ЧМ девиации	169
Отношения C/N , S/N и порог демодулятора	170
Внесение и коррекция предискажений	171
Коэффициент взвешивания шумов	171
Расчет цифровой линии связи	171
Пропускная способность канала связи согласно теореме Шеннона	172
Эффективность кодирования	173
Предварительная коррекция ошибок	174
Цифровая модуляция	175
Модификации для системы DVB	175
Краткая форма расчета линии связи при ясном небе	176
Проведение обратных вычислений	178
Уровень ЭИИМ и диаметр антенны	179
Значение ширины луча	180
Разнос спутников связи	181
Глава 6. Установка.	
Исследование места приема	184
Координаты поиска спутника	186
Магнитное склонение	187
Карты топографической службы	188
Исследование азимута	189
Исследование угла места	189
Специальные приборы для исследования места приема	193
Прием сигнала с одного спутника	195
Рабочие испытания	196
Прием сигналов с нескольких спутников	197
Планировка места приема	198

Усилители системы кабельного распределения сигналов	198
Разрешение на планировочные работы	199
Защита от вандализма	199
Совместимость с окружающей средой	200
Структура кирпича	200
Глава 7. Установка.	
Монтаж антенны и разводка кабеля	202
Страховка	202
Состав бригады для проведения работ по установке	202
Отношения с заказчиком	203
Гарантии	203
Основные инструменты и оборудование	203
Лестницы	204
Соблюдение мер безопасности при использовании лестниц	204
Электрические дрели	205
Электропневматические бурильные и комбинированные молотки	206
Меры безопасности при проведении сверлильных работ	206
Сверла	207
Дополнительные инструменты и материалы для установочных работ	207
Монтаж антенны на стене	208
Шурупы и пластиковые дюбели для стен	209
Вытягивающие нагрузки и пластиковые дюбели	210
Поперечные нагрузки и пластиковые дюбельные крепления	212
Назначение спроектированных креплений	212
Расклинивающиеся анкеры	215
Ниппельные анкеры	217
Сборка антенн, устанавливаемых на стене	218
Отверстия для ввода кабеля	218
Прокладка кабеля	221
Когда стандартная установка антенны на стене невозможна	222
Низкопрофильные установки	224
Установка антенн больших размеров	225

Заземление металлоконструкций	227
Сборка антенны	227
Глава 8. Установка.	
Настройка антенны и подключение кабеля	228
Контрольно-измерительная аппаратура	228
Компас и угломер	228
Простые линейные измерители пикового уровня	229
Широкополосные измерители уровня сигнала с питанием от аккумулятора	231
Анализаторы спектра	232
Цифровые приборы	233
Инструкция по работе с Satfinder	233
Центрирование облучателя	235
Подсоединение наружного кабеля для фиксированных спутниковых систем	235
Регулировка антенн с фиксированными подвесками AZ/EL	236
Герметизирующие составы	237
Регулировка модифицированной полярной подвески	238
Порядок регулировки модифицированной полярной подвески	242
Универсальная программа расчета углов	245
Глава 9. Установка.	
Проведение внутренних работ	248
Подключение сигналов	248
Конфигурация с использованием ВЧ модулятора	249
Порядок выполнения соединения	250
Подключение видеоманитофона	250
Порядок выполнения соединения	251
Варианты подключений с использованием разъема SCART	252
Другой способ непосредственного подсоединения аудио- и видеосигналов	253
Усилители системы распределения сигналов	257
Расширение возможностей дистанционного управления	257

Настройка систем, применяющихся в телевизорах и видеоманитофонах	261
Предварительно установленная потенциометрическая настройка	261
Настройка электронным сканированием	261
Непосредственный ввод номера канала или синтезирование частоты	262
Регулировка ВЧ модулятора	263
Настройка спутниковых приемников	264
Глава 10. Ремонт спутникового оборудования	266
Признаки неисправностей	268
Контрольно-измерительные приборы	268
Измеритель уровня сигнала	268
Мультиметр	268
Анализатор спектра	269
Осциллограф	269
Проверка настройки и внутренних соединений	269
Визуальная проверка внешнего блока	270
Проверка частей и блоков системы	270
Неисправности блока питания	272
Импульсные источники питания	273
Принципы работы схемы	273
Диоды, применяемые в источниках питания	276
Резисторы и конденсаторы, применяемые в блоках питания	278
Контактные соединения	279
Управление режимами работы LNB: V/H и 22 КГц	279
Цифровые схемы и схемы дистанционного управления	280
Глава 11. Системы цифрового спутникового ТВ	281
Необходимость сжатия информации	281
Методы снижения скорости передачи информации	283
Избыточность	283
Теория информации	284
Приемлемость изображения	285
Аналого-цифровое преобразование	286
Частота Найквиста-Котельникова	287
Бинарное кодирование	288
Кодирование источника изображения	289

Предварительная обработка	290
Кодирование сокращением избыточности	290
Внутрикадровое DCT-кодирование	291
Пороговая обработка	293
Квантование	293
Блоки сканирования	294
Структура кодов	295
Межкадровое кодирование	296
Адаптивное кодирование	296
Декодирование	298
Методы цифровой модуляции	299
Сигналы бинарного сообщения	299
Скорость передачи сигнала и скорость передачи данных	300
Цифровая частотная модуляция или частотная фазовая манипуляция	300
Цифровая фазовая модуляция или фазовая манипуляция	301
Относительная фазовая манипуляция	302
Квадратурная фазовая манипуляция	303
Методы модуляции 8-PSK и 16-PSK	306
Квадратурная амплитудная модуляция	307
Направления развития	308
Система DVB/MPEG-2	309
Система DVB-S	310
Система DVB-SI	311
Стандарт MPEG-2 Audio	312
Стандарт MPEG-2 Video	312
Система DirecTV	314
Глава 12. Системы распределения спутниковых ПЧ сигналов	317
Технические термины	317
Распределение ПЧ и многоканальное распределение	319
Методы распределения сигналов спутниковой ПЧ	320
Распределение сигналов одной поляризации	322
Распределение сигналов с двумя направлениями поляризации	323
Внешний блок	323
Применение схемы соединений звездой при использовании одного кабеля	324

Применение древовидной схемы соединений при использовании двух кабелей	327
Оборудование и компоненты	329
Диплексеры спутниковой ПЧ/наземных ТВ сигналов	329
Делители	330
Переключатели V/H	330
Мультисвитчи V/H	330
Мультисвитчи для спутниковых и наземных сигналов	331
Инжекторы питания	331
Магистральные усилители спутниковой ПЧ	332
Линейные усилители	332
Ответвители	332
Ответвители с переключением V/H	333
Устройства сопряжения со схемой управления поляризатором	334
Коаксиальные кабели	334
Настенные абонентские розетки	334
Устройства сдвига частоты каналов	335
Спутниковые приемники	335
Небольшие интегрированные системы	336
Предварительная обработка сигнала спутниковой ПЧ	336
Проектирование простых систем	337
Проектирование, установка и безопасность	343
Выбор размера антенны	344
Приложение 1. Глоссарий	348
Приложение 2. Средства программного обеспечения	364
Программа Satmaster Pro для Windows	364
Программа Satfinder	366
Спутниковая энциклопедия	367
Приложение 3. Условия, определяющие геостационарную орбиту спутника	368
Приложение 4. Крепежные изделия (номера по каталогу для продукции компании Rawlplug)	371

Приложение 5. Список геостационарных спутников	375
Приложение 6. Таблица значений углов азимута, места и поворота конвертора	378
Приложение 7. Таблицы глобальных азимутов и углов места	384
Приложение 8. Таблицы значений AZ/EL для главных европейских городов и деловых центров	414
Приложение 9. Полезные константы и эквиваленты	428
Предметный указатель	429

ПРЕДИСЛОВИЕ

Первое издание книги «Guide to Satellite TV» получило благоприятные отзывы еще в 1990 году. С тех пор в быстро развивающейся отрасли спутникового ТВ произошло много изменений. Новое, четвертое издание исправлено и дополнено материалами по цифровому ТВ вещанию, которое, как ожидается, вскоре полностью вытеснит аналоговые системы благодаря своей гибкости и значительному сокращению полосы частот.

Настоящее издание сочетает в себе качества обычного руководства по установке оборудования и учебника с привлечением теоретического материала. Добавлены новые разделы по следующим темам:

- антенны с несколькими облучателями, позволяющими принимать сигналы от двух и более спутников при помощи одной фиксированной антенной тарелки;
- универсальные широкополосные конверторы (LNB) для приема аналоговых и цифровых сигналов;
- упрощенный расчет параметров линии связи от спутника до Земли для конкретного типа цифровой приемной аппаратуры;
- обзор системы DVB/MPEG-2, получившей широкое распространение.

В книге содержатся все необходимые сведения по спецификации, установке и техническому обслуживанию фиксированных и полярных антенных подвесок, а также систем распределения сигналов ПЧ

для небольших жилых кварталов и гостиниц. К сожалению, в подобном издании невозможно осветить все стороны такой динамичной отрасли, как спутниковое ТВ. Однако автор надеется, что установщики аппаратуры получат наиболее важную техническую информацию.

Автор выражает признательность всем инженерам, внесшим огромный вклад в фонд общечеловеческих знаний, из которого, в конечном счете, и была «позаимствована» большая часть материала для этой книги.

*Д. Стивенсон
Мерсейсайд*

ГЛАВА 1. ОБЗОР СПУТНИКОВОГО ТВ

Хотя поначалу спутниковое ТВ и не было предназначено для непосредственного приема в бытовых условиях, подобная практика существует много лет. Все началось с того, что несколько энтузиастов, воспользовавшись элементарными знаниями по спутниковым приемным системам, стали просматривать программы, передаваемые для операторов кабельных систем через маломощные спутники основных телекоммуникаций. Необходимое для этого оборудование было импортным и, в основном, неевропейским. Громоздкие и неэстетичные устройства стоили недешево, а прием сигнала в условиях дождя или низкой облачности не отличался высоким качеством. Неудивительно, что это новшество не вызвало какого-либо интереса в обществе.

Сегодня огромные антенны Ku-диапазона уже не находят широкого применения. С тех пор как новые, более мощные спутники почти полностью заменили устаревшие модели, антенны размером свыше 1,5 м в Европе являются редкостью. Наибольшим спросом пользуются услуги спутниковых служб диапазона FSS, которые предоставляются на определенное время.

Операторы спутникового ТВ применяют различные методы для увеличения пропускной способности канала связи. Наиболее распространенным является пакетный подход, когда от двух до пяти спутников группируются на одном небольшом участке орбиты (например, спутники системы Astra). Другой метод предусматривает использование спутников, находящихся на разных участках орбиты, но направляющих свои сигналы на одну зону обслуживания (например,

спутники серии Eutelsat). Иногда операторы объединяют два подхода, как это происходит при совместном расположении спутников Hotbird в позиции 13°Е (восточной долготы).

Другой метод предусматривает использование спутников, находящихся на разных участках орбиты, но направляющих свои сигналы на одну зону обслуживания (например, спутники серии Eutelsat II). Иногда операторы объединяют оба подхода, как это происходит при совместном расположении спутников Eutelsat II F6 (Hotbird 1) и Hotbird 2 в позиции 13°Е (восточной долготы). Очевидно, что совместное расположение предпочтительнее одиночного, поскольку для приема сигналов от нескольких спутников требуется недорогая «тарелка» с фиксированной антенной подвеской.

Основные термины и понятия

Для тех, кто является новичком в системах связи и незнаком с некоторыми терминами и понятиями, ниже помещен краткий подготовительный раздел, который содержит основные принципы, необходимые для понимания вопросов спутникового приема. Технически подготовленные специалисты могут при желании пропустить этот раздел.

Синусоидальные электромагнитные волны

Все радио- и телевизионные сигналы состоят из электрических и магнитных волн, которые распространяются в свободном пространстве со скоростью света (примерно 186 000 миль в секунду, или 3×10^8 м/с). Эти волны состоят, в свою очередь, из *электрических полей* (E), измеряемых в вольтах на метр, и *магнитных полей* (H), измеряемых в амперах на метр. Составляющие полей E и H всегда расположены под прямым углом друг к другу, а направление распространения волн – под прямым углом к 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:

- *цикл* – одна полная электрическая последовательность;
- *пиковое значение* (V_p) – максимальный положительный или отрицательный уровень, называемый также амплитудой;

- *период* (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:

- килogerц (кГц) = 10^3 Гц = 1 000 Гц;
- мегагерц (МГц) = 10^6 Гц = 1 000 000 Гц;
- 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.

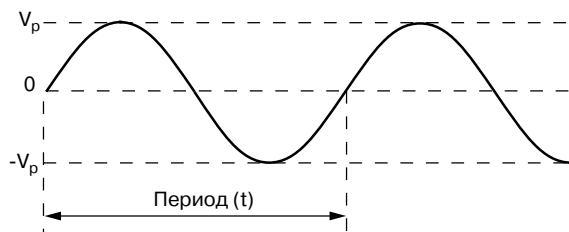


Рис. 1.1. Синусоидальная волна

Угловая скорость

Угловая скорость (ω) – это косвенный способ выражения частоты:

$$\omega = 2\pi f \text{ рад/с.}$$

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);

θ – угол, измеряемый в радианах (не в градусах).

Цикл составляет 2π 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:

$$v = V_p \sin 2\pi ft.$$

Для краткости $2\pi f$ часто обозначают угловой скоростью ω . 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 W^1 можно выразить формулой:

$$W = c / f.$$

Отсюда следует, что чем выше частота, тем короче длина волны. В спутниковом ТВ вещании используются частоты порядка 10 ГГц. Тем не менее, длины волн исчисляются в сантиметрах, поэтому длина волны может быть вычислена следующим образом:

$$W = (3 \times 10^8) / (10 \times 10^9),$$

$$W = 3 \times 10^{-2} = 3 \text{ см.}$$

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. Возникает вопрос: почему такие высокие частоты используются в спутниковом вещании? Прежде чем ответить на него, необходимо понять некоторые фундаментальные законы, имеющие отношение к передаче информации, независимо от того, звуковая это информация или визуальная.

Несущая частота

Предположим, что требуется передать звуковой сигнал частотой 1000 Гц. Теоретически электрический генератор и усилитель могут быть

¹ Обозначение W используется здесь в качестве примера. Обычно длина волны обозначается λ . – *Прим. науч. ред.*

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 W , соответствующей частоте 1000 Гц. Используя выражение, приведенное выше, получаем:

$$W = c/f = (3 \times 10^8) / (10^3) = 3 \times 10^5 \text{ м} = 300\,000 \text{ м}.$$

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 шириной 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_c) 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.

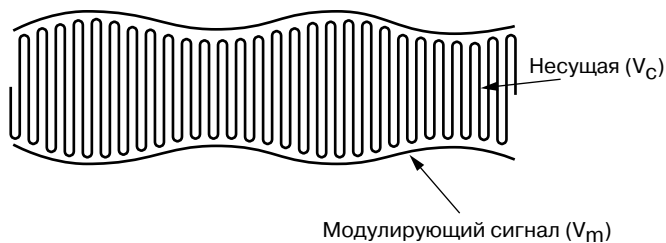


Рис. 1.2. Амплитудная модуляция

Коэффициент модуляции

Коэффициент модуляции (m) – это отношение амплитуды модуляции V_m к амплитуде несущей V_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 будет состоять из речевой или визуальной информации, которая 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 боковых 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 несущей на приемной стороне. Такой метод называется методом передачи 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 пропорционально амплитуде модулирующего сигнала.

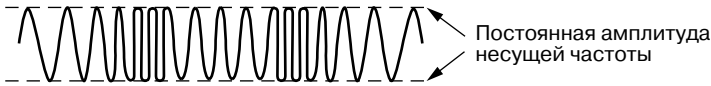


Рис. 1.3. Частотная модуляция

Девияция 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 f_d 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

Шум – 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 К). Этот мельчайший, но 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.

$$\text{RMS-значение шума Джонсона} = (4k tBR)^{1/2},$$

где t – абсолютная температура по Кельвину (комнатная температура составляет около 290 К);

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

R – величина резистора в омах;

B – 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 небольшой, 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 телевидения. 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

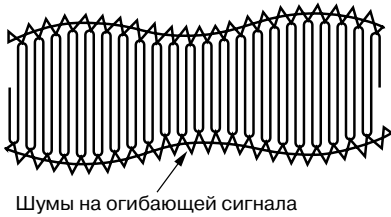
Отношение сигнал/шум (S/N) – это отношение уровня ЭДС полезного сигнала к уровню ЭДС любого существующего шума, которое должно быть как можно более высоким. Если величина этого отношения падает до единицы или ниже, то сигнал передавать практически бесполезно. (В некоторых случаях можно использовать довольно 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 отсеечения 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

**Рис. 1.4.** Шумы на АМ сигналах

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.

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 шумов 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). Последнее решение используется наиболее часто, подробнее о нем будет рассказано в главе 4.

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:

$$\text{дБ} = 10 \log P_1/P_2.$$

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 = $10 \log 1000/10 = 10 \log 100 = +20$ 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, $(+5) + (-2) + (+3) + (-0,5) = 5,5$ дБ.

Ниже приведены некоторые из наиболее часто используемых значений децибелов:

Децибелы, дБ	Соответствующее увеличение мощности
0,0	1,00
0,5	1,12
1,0	1,26
2,0	1,58
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:

$$\text{дБ} = 20 \log V_1/V_2.$$

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

Спутниковое ТВ Ku-диапазона

В европейских странах для передачи спутникового ТВ сигнала используется почти исключительно Ku-диапазон (10,95–14,5 ГГц). Соответственно, основное внимание в этой книге уделено приему сигналов в Ku-диапазоне.

Пояс Кларка

Еще в 1945 году Артур Кларк, известный ученый и писатель-фантаст, предсказал, что искусственный спутник, размещенный на высоте 35 803 км прямо над экватором, будет вращаться вокруг земного шара с той же скоростью, с которой вращается Земля. В результате спутник останется неподвижным по отношению к любой точке земной поверхности. Этот экваториальный пояс называется *поясом Кларка*. Любой спутник, находящийся в пределах данного пояса, называется *геостационарным спутником* и размещается на участке, который называется дугой орбиты. Через линию связи сигналы посылаются вверх, по направлению к спутнику, обрабатываются электронным способом и затем ретранслируются через линию связи вниз, по направлению к наземным приемным станциям (см. рис. 1.5).

Линия связи вверх

Станция линии связи вверх – это весьма сложное устройство, поскольку сигналы посылаются на различных частотах (обычно выше 14 ГГц), чтобы избежать интерференции с сигналами, которые, в свою очередь, посылаются по линии связи вниз. Другой функцией, которую выполняет станция линии связи вверх, является строгий контроль функций самого спутника (таких как точность удержания на орбите), хотя в данный момент эти технические подробности не особенно важны. Луч мощности передаваемого микроволнового сигнала должен быть как