

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. И.РАЗЗАКОВА**

Кафедра «Телекоммуникации»

**ПРОТОКОЛЫ И СТАНДАРТЫ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ**

Программа, методические указания к выполнению
контрольных работ по дисциплине
«Протоколы и стандарты телекоммуникаций»

БИШКЕК – 2011

«Рассмотрено»
на заседании кафедры
«Телекоммуникации»
Протокол № 3 от 04.11.2010 г.

«Одобрено»
Методической комиссией
ФИТ
Протокол № 3 от 17.11.2010 г.

Составитель СУЛТАНГАЗИЕВА Р.Т.

Протоколы и стандарты телекоммуникаций. Программа, методические указания к выполнению контрольных работ по дисциплине «Протоколы и стандарты телекоммуникаций» / КГТУ им. И.Раззакова; сост. Р.Т.Султангазиева. – Б.: ИЦ «Текник», 2011. – 48 с.

Методические указания содержат рабочую программу, тематический план лекций, перечень лабораторных работ, основной и дополнительный библиографический список, задания на контрольные работы, а также методические указания к выполнению контрольных работ.

Предназначено для студентов для студентов направления 550400 «Телекоммуникации» заочного отделения.

Ил.: 1 Библиогр.: 10 наименов.

Рецензент к.т.н., доц. Каримов Б.К.

Протоколы и стандарты телекоммуникаций
Программа, методические указания к выполнению контрольных работ по дисциплине «Протоколы и стандарты телекоммуникаций»

Составитель *Султангазиева Р.Т.*

Тех. редактор *Субанбердиева Н.Е.*

Подписано к печати 28.02.2010 г. Формат бумаги 60x84¹/₁₆.
Бумага офс. Печать офс. Объем 1,25 п.л. Тираж 50 экз. Заказ 79. Цена 24 сом.
Бишкек, ул. Сухомлинова, 20. ИЦ «Текник» КГТУ им. И.Раззакова, т.: 54-29-43
e-mail: beknur@mail.ru

1. Цели и задачи дисциплины, ее значение в учебном процессе

1.1. Цели дисциплины

Цель преподавания дисциплины состоит в рассмотрении методологических основ, стандартов и протоколов современных телекоммуникационных технологий. Особое внимание уделяется сетям абонентского доступа, интеллектуальным сетям связи и IP сетям.

1.2. Задачи изучения дисциплины

Основными задачами дисциплины являются:

- изучение перспективных сетей абонентского доступа
- основные технологии, применяемые в IP-телефонии;
- изучение принципов построения интеллектуальных сетей связи.

1.3. Перечень дисциплин и их разделов, усвоение которых необходимо при изучении данной дисциплины

Наименование дисциплин	Наименование разделов
Теория электрической связи	Преобразование сигналов; Цифровые методы передачи информации;
Компьютерные сети	Сети Ethernet. Стек протоколов TCP/IP. Протоколы сетевого уровня.
Основы построения телекоммуникационных сетей и систем	Принцип передачи сообщений; Системы передачи с временным разделением каналов; Системы передачи с частотным разделением каналов;
Направляющие системы электросвязи	
Цифровые системы передач	Цифровые системы передач; Иерархия цифровых систем передач; Основные характеристики ЦСП с ИКМ; Сети SDH.
Глобальные сети	Сети ISDN. Сети Frame Relay. Сети X.25. Технология ATM.
Системы сигнализации	Межстанционная сигнализация. Общекабельная сигнализация 7.

2. Содержание лекционных занятий

2.1. Введение. Сети абонентского доступа

Организации по стандартизации. Основные серии рекомендаций МСЭ. Сети абонентского доступа. Модель, определения и архитектура сетей доступа. Базовая структура сети доступа. Линия передачи абонентов. Схема построения абонентской линии ГТС.

2.2. Перспективные сети абонентского доступа

Сети широкополосного абонентского доступа и их классификация. Доступ с использованием эксплуатируемых двухпроводных физических линий. Краткий обзор технологий xDSL. Доступ без использования эксплуатируемых двухпроводных физических цепей. Обзор технологий FTTx, HFC, PON, PLC, Ethernet, беспроводных технологий.

2.3 Ассиметричные технологии xDSL

Стратегия предоставления широкополосных услуг. Характеристики интерактивных служб. Рекомендации G.992.1. Концепция полномасштабной aDSL. Частотная характеристика aDSL. FDM и метод Echo Cancellation. Элементы сети aDSL. aDSL- модем, сплиттер, DSLAM. Достоинства технологии aDSL. Основные недостатки aDSL.

2.4 Симметричные технологии xDSL

High-bit-rate DSL, ее разновидности и характеристики. Область применения HDSL. Межстанционная связь между цифровыми АТС. Межстанционная связь между аналоговой и цифровой АТС. Уплотнение абонентских линий и организации абонентского выноса. Доступ к сети SDH. Объединение локальных вычислительных сетей. Недостатки HDSL. HDSL2. Использование G.SHDSL при модернизации СТС.

2.5 Оптические сети доступа по технологиям FTTx/PON

Оптические сети доступа. Преимущества, топологии. Пассивные оптические сети (PON). Основные компоненты архитектуры PON, центральный узел OLT, ONU (Optical Network Unit) – абонентский терминал. Пассивный оптический разветвитель. Принцип действия, технология передачи сигналов. Стандарты APON G.983, BPON ITU G.983, EPON (GEPON) IEEE 802.3ah.

2.6 Гибридная оптико-коаксиальная HFC – сеть

Архитектура сети кабельного телевидения. Организация обратного канала. Стандарт DOCSIS, eDOCSIS. Частотный спектр традиционной гибридной сети HFC. Базовые требования к HFC сети нового поколения. Сеть абонентского доступа HFC. Головная станция телевизионного вещания. Головная станция кабельных модемов (CMTS). Видеосервер. Оптическая часть распределительной сети абонентского доступа. Сегментация оптических узлов. Использование WDM.

2.7 Концепция FTTx

FTTB сети. Сеть доступа Ethernet на первой миле. Стандарты Ethernet, коммутируемый Ethernet. Коммутаторы 1, 2 уровней. Разводка по дому, разводка по подъездам. Виртуальные локальные сети. Домашние сети HomePNA. Стандарты домашних сетей.

2.8 Интеллектуальные сети связи

Функциональные требования к Интеллектуальным сетям связи. Архитектура интеллектуальных сетей. Узел коммутации услуг. Функции узла управления услугами. Узел базы данных услуг. Узел менеджмента услуг. Узел создания услуг. Модель обслуживания вызова в ИС. Концептуальная модель ИС. Плоскость услуг. CS-1. Глобальная функциональная плоскость, SIB. Распределенная функциональная плоскость. Физическая плоскость.

2.9 Принципы IP-телефонии

Особенности IP-телефонии. Этапы передачи голоса по IP сетям. Стек протоколов VoIP. Физический уровень, канальный уровень, сетевой уровень. Рекомендация G.711. Кодек G.726, G.726, G.729, G. Основные характеристики кодеков. Протоколы реального времени RTP и RTCP. Групповая аудио-конференц-связь. Видео-конференц-связь. Понятие о микшерах и трансляторах. Сценарии IP-телефонии "компьютер-компьютер", "телефон-компьютер", "телефон-телефон".

3. 10 Сигнализация в сетях IP-телефонии

Архитектура H.323. Терминал. Шлюз, схема обработки сигналов в шлюзе. Привратник. Устройство управления многоточечными конференциями (MCU). Стек протоколов H.323. Сигнальный канал H.225.0 (Q.931). Управляющий канал H.245. Определение ведущего и ведомого оборудования. Сигнализация RAS. Обнаружение привратника. Регистрация оконечного оборудования. Доступ к сетевым ресурсам.

2.10 Протокол инициализации сеанса SIP

Принципы протокола SIP. Адресация, сообщения протокола SIP, протокол описания сеанса (SDP). Сетевые устройства протокола SIP. Терминал User Agent Client (UAC), User Agent Server (UAS). Прокси-сервер (Proxy Server), Сервер регистрации (Registrar server), Сервер перенаправления (Redirect server), Сервер определения местоположения пользователей (Location Service). Алгоритмы установления соединения. Сравнительный анализ протоколов H.323 и SIP.

2. 12 Протокол управления шлюзами (MGCP)

Архитектура распределенного шлюза. Проктолы управления шлюзом MGCP, MEGACO/H.248, особенности протоколов, модель соединения, команды протокола, структура сообщений и сценарии установления соединений в сети. Протокол ВСС. Архитектура сети согласно ВСС. Структура протокола ВСС. Сценарии обслуживания вызовов.

2.13 Универсальный интерфейс V5

Общие принципы построения интерфейса V5. Опорная точка V. Функциональное описание V5. Физический уровень протокола V5. Уровень LAPV5. Структура кадров, форматы сообщений. Общее описание интерфейса V5.2. Электрические и функциональные параметры интерфейса V5.2 . Каналы интерфейса V5.2. Несущие каналы интерфейса V5.2 и их использование. Коммуникационные каналы интерфейса V5.2 и их использование. Система адресации абонентских линий в интерфейсе V5.2. Подуровень дополнительной адресации; Конфигурация интерфейса V5.2.

3. Практические занятия

3.1 Алгоритмы модуляции xDSL

Квадратурно-амплитудная модуляция. Модуляция CAP. DMT. Коды Рида-Соломона. Принцип чередования бит. Модуляция TC-PAM. Энергетические спектры сигналов.

3.2 Условия электромагнитной совместимости оборудования технологий xDSL

Основные показатели качества ЦСП. Нормы на показатели ошибок цифровых каналов. Требования к параметрам влияния между цепями xDSL. Расчет протяженности линии сети абонентского доступа.

3.3 Основные вопросы проектирования оптических сетей доступа

Расчет оптического бюджета оптической линии. Компоненты оптической сети. Оптические потери. Запас мощности.

3.4 Протокол INAP и услуги ИСС

Услуга «Свободный номер». Сценарий обмена сообщениями по протоколу INAP-R. Назначение конструктивных блоков SIB.

3.5 Сообщения протокола SIP

Структура сообщения, запросы, ответы. Процесс установления соединения.

4. Перечень вопросов теоретического курса

- 1) Перечислите способы повышения эффективности использования АЛ
- 2) Укажите требования, предъявляемые к сетям доступа.
- 3) На какие классы можно разделить технологии сетей доступа.
- 4) Основные этапы развития системы абонентского доступа
- 5) В чем заключается «асимметрия» в технологии aDSL.
- 6) Для чего предназначен сплиттер в технологии xDSL.
- 7) Какие факторы влияют на реальную пропускную способность цифровых абонентских линий
- 8) Назовите основные области применения технологии HDSL
- 9) Причины разработки версии HDSL2?
- 10) Основные компоненты архитектуры PON, их функции.
- 11) Особенности организации прямого и обратного потока в технологии PON.
- 12) Принципы построения классических сетей кабельного телевидения.
- 13) Стандарт DOCSIS
- 14) Перечислите основные услуги, предоставляемые гибридной сетью.
- 15) Методы, используемые в HFC сетях для выполнения базовых требований к данным сетям.
- 16) Технология передачи данных по сетям кабельного телевидения.
- 17) Пропускная способность HFC сетей.
- 18) Функции CMTS.
- 19) Какая технология предпочтительна для поселков коттеджного типа.
- 20) В чем преимущества и недостатки технологии Ethernet на первой миле
- 21) основополагающие требования, предъявляемые к архитектуре ИС
- 22) Чем отличаются абонент услуги и пользователь услуги IN
- 23) Перечислите основные узлы архитектуры IN
- 24) Какова роль контроллера интеллектуальной сети.
- 25) В чем разница между внутренним и внешним SSP? Как подключается внешний SSP к сети?

- 26) Какие услуги входят в набор CS-1?
- 27) Какая нумерация используется для доступа к услугам интеллектуальной сети?
- 28) В чем особенность процесса предоставления услуги «Бесплатный вызов».
- 29) В чем особенность процесса предоставления услуги «Вызов с дополнительной платой».
- 30) В чем особенность процесса предоставления услуг с использованием карт оплаты.
- 31) Перечислите основные функции привратника
- 32) Каковы функции шлюза
- 33) Перечислите основные функции протокола RAS
- 34) Перечислите основные сообщения H.225
- 35) Как определяется ведущее и ведомое оборудование
- 36) Зачем нужен протокол SIP
- 37) С помощью какого протокола терминалы обмениваются информацией о своих функциональных возможностях.
- 38) Перечислите основные элементы SIP сети
- 39) Какой тип адресации используется в протоколе SIP
- 40) Составьте функциональное описание интерфейса V5.
- 41) Дайте определение C-путей, C-каналов и типов данных передаваемых через интерфейс V5
- 42) Как обеспечивается резервирование каналов и трактов, группы защиты 1 и 43) Общая структура сообщений протокола V5.
- 44) Функциональное описание интерфейса V5.
- 45) Уровни протоколов интерфейса V5 и их соответствие эталонной модели взаимодействия открытых систем.

Литература

Основная:

- 1) Гольдштейн Б.С. Протоколы сети доступа. – М.: Радио и связь, 2002.
- 2) Гольштейн Б.С., Пинчук А.В., Суховицкий А.Л. IP – телефония – М.: Радио и связь, 2001.
- 3) Гольдштейн Б.С., Ехриель И.М., Кадыков В.Б., Рерле Р.Д. Интерфейсы V5.1 и V5.2. – СПб.: ВНУ-Санкт-Петербург, 2003.
- 4) Соколов Н.А. Сети абонентского доступа. Принципы построения. – Пермь: "Энтер-профи", 1999.

Дополнительная:

1. Архитектура, протоколы и тестирование открытых информационных сетей. Толковый словарь / Б.Ф. Баумгарт, С.П. Волкова, А.В. Гнедовский и др.; под ред. Э.А. Якубайтиса. – М.: Финансы и статистика, 1990.
2. Крестьянинов С.В., Полканов Е.И., Шнепс-Шнеппе М.А. Интеллектуальные сети и компьютерная телефония. Москва, 2001.
3. Джон К. Беллами Цифровая телефония. Москва, 2004.

Тема 1. Алгоритмы модуляции xDSL

Для привлечения пользователей любая технология должна обеспечить как можно более высокую скорость передачи данных. Однако, повышение скорости передачи ведет к снижению качества принимаемого сигнала и росту уровня помех, которые данный канал вносит в работу соседних каналов. Для решения этих проблем в совокупности применяются специальные методы линейного кодирования (алгоритмы модуляции), позволяющие передавать данные с достаточно высокими скоростями. При этом передаваемые в линию сигналы имеют такие параметры, которые обеспечивают возможность достоверного приема и не оказывают катастрофического влияния на работу соседних информационных каналов.

Алгоритм модуляции 2B1Q

Линейное кодирование 2B1Q (2 Binary 1 Quandary) было разработано для использования в качестве протокола физического уровня в точке сопряжения U BRI-интерфейса сетей ISDN. Алгоритм 2B1Q представляет собой один из вариантов реализации амплитудно-импульсной модуляции с четырьмя уровнями выходного напряжения без возвращения к нулевому уровню.

<i>Кодовая группа</i>	<i>Кодовое напряжение</i>
00	- 2,5 В
01	- 0,833 В
10	+ 2,5 В
11	+ 0,833 В

Для формирования линейного кода входной информационный поток делится на кодовые группы по два бита в каждой. Положительная полярность означает, что первый бит равен 1, а отрицательная, что он равен 0. Второй бит интерпретируется как 1 при низких уровнях напряжения и как 0 при высоких уровнях.

Таким образом, закодированный в соответствии с правилами 2B1Q сигнал представляет собой последовательность скачкообразно изменяющихся напряжений с 4 возможными уровнями (рис. 2).

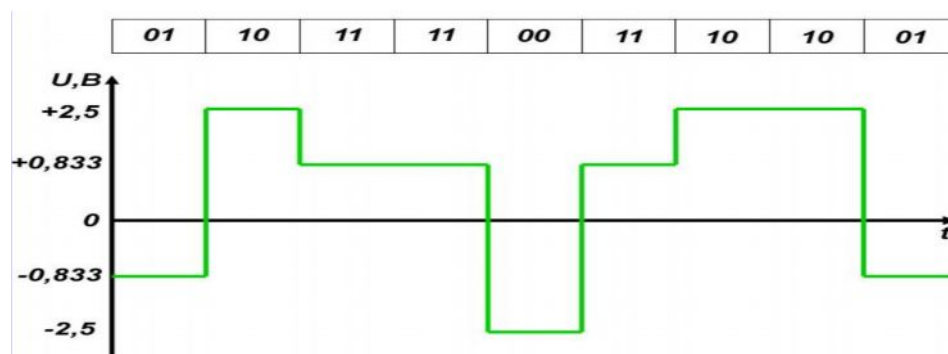


Рис. 1. Пример формирования кода 2B1Q

Поскольку в данном случае двум битам немодулированного сигнала ставится в соответствие один кодовый символ, информационная скорость в два раза превышает символьную. Данный код нашел достаточно широкое применение в устройствах xDSL с симметричными скоростями передачи данных HDSL и SDSL.

Алгоритм модуляции CAP

Алгоритм амплитудно-фазовой модуляции с подавлением несущей carrier (CAP) является одним из наиболее широко используемых в настоящее время на DSL-линиях методов модуляции. Алгоритм CAP представляет собой одну из разновидностей алгоритма QAM, его особенность заключается в специальной обработке модулированного информационного сигнала перед его отправкой в линию. В процессе этой обработки из спектра модулированного сигнала исключается составляющая, которая соответствует частоте несущей QAM. После того, как приемник принимает сигнал, он сначала восстанавливает несущую частоту, а после этого - поток данных. Такие манипуляции со спектром выполняются для того, чтобы уменьшить долю неинформативной составляющей в спектре передаваемого сигнала. Это, в свою очередь, делается для того, чтобы обеспечить большую дальность распространения сигнала и уменьшить уровень перекрестных помех между сигналами, которые передаются по одному кабелю.

Из модулированного сигнала предлагается исключить именно ту гармоническую составляющую, которая должна была использоваться для переноса полезного сигнала. Однако, если более подробно рассмотреть схему формирования сигнала, станет понятно, что алгоритм CAP в части формирования линейного кода практически ничем не отличается от классических алгоритмов гармонической амплитудной модуляции.

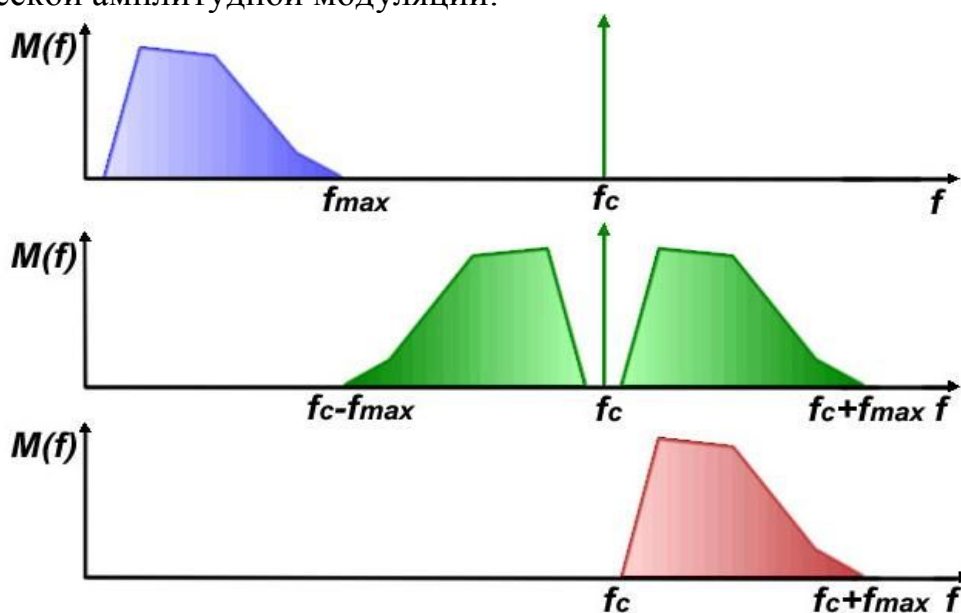


Рис. 2. Алгоритм модуляции CAP

На первом графике рис.2 отмечен спектр передаваемого полезного сигнала. Максимальная частота этого сигнала имеет значение f_{max} . Частота моду-

лирующего колебания-носителя имеет значение f_c . После выполнения процедуры гармонической амплитудной модуляции спектр полезного сигнала переносится в область частоты f_c и приобретает зеркальные составляющие. На рисунке этот спектр отмечен на втором графике. Для восстановления переданного сигнала на приемной стороне достаточно передать только одну из зеркальных компонент спектра модулированного сигнала. Гармоника с частотой f_c также является компонентом спектра модулированного сигнала, однако при восстановлении сигнала без неё также можно обойтись. Теоретически, амплитуда этой гармоники несет информацию об уровне постоянной составляющей передаваемого сигнала (составляющая спектра сигнала с частотой = 0). В силу этого данная гармоника не является в полной мере информативной, и её потеря не повлияет на качество восстановленного сигнала. Хотя исключение гармоники f_c из передаваемого сигнала ведет к возникновению определенных трудностей при восстановлении сигнала, эта процедура вполне оправдана, поскольку позволяет существенно снизить уровень неинформативного сигнала, передаваемого в линию. На последнем графике показан спектр модулированного колебания, который сформирован в соответствии с принципами алгоритма CAP.

DMT модуляция (дискретный мультитон)

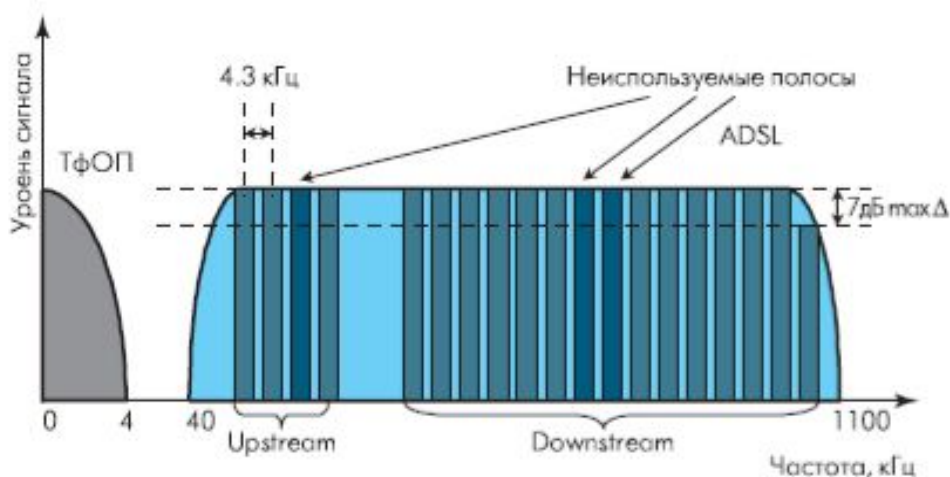


Рис.3 DMT модуляция

Весь спектральный диапазон разбивается на субканалы (обычно 256) шириной по 4 кГц. В каждом из субканалов происходит QAM_модуляция несущей (центральная частота субканала) со скоростью до 15 бит/символ/Гц. Это можно представить как одновременную работу 256 аналоговых модемов с максимальной производительностью 60 Кбит/с каждый. Следовательно, теоретически возможная скорость обмена с использованием DMT – около 15 Мбит/с. Естественно, в реальной работе используется только часть несущих, и скорость данных в каждом субканале может опускаться до 4 бит/символ/Гц и ниже.

DMT оказалась столь удачной, что фактически стала стандартом для асимметричных DSL, вытеснив претендовавшую на эту роль CAP. Прежде всего, она допускает очень гибкое и динамичное частотное планирование, позво-

ля избежать зашумленные участки, область телефонии и т.д. DMT – это “высокоинтеллектуальная” технология. Модем способен определить уровень шума в каждом субканале и задать оптимальное число битов в символе для каждой несущей

Кроме того, при равной скорости время передачи отдельного символа в DMT во много раз (до 250) больше, чем в CAP. Следовательно, короткие широкополосные импульсные помехи менее опасны для сигнала DMT, чем для сигналов CAP. Что еще существеннее, DMT позволяет очень гибко и плавно – с шагом 32 Кбит/с изменять скорость передачи, подстраиваясь под конкретную линию. Так же гибко меняется соотношение скоростей восходящего/нисходящего потоков.

Явное достоинство модуляции CAP – меньшая энергоемкость (устройства с CAP могут питаться от линии). Это важно для приложений симметричной DSL, но не существенно для ADSL, поскольку все устройства находятся либо у оператора, либо у пользователя, где нет проблем с электропитанием. Немаловажно, что DMT_оборудование разных производителей, на основе различных комплектов ИС хорошо совместимо друг с другом, чего нельзя сказать про CAP.

ТС-РАМ

В технологии SHDSL применен новый тип линейного кодирования, называемый TSPAM. TSPAM расширяется как Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation (импульсная амплитуднофазовая модуляция с кодированием Треллис). Суть данного метода кодировки в увеличении числа уровней (кодовых состояний) с 4 (как в 2B1Q) до 16 и применении специального кодирования, обеспечивающего опережающую коррекцию ошибок. Этот способ коррекции ошибок (Trellis coding) был детально отработан в аналоговых модемах, но, конечно, для более низких скоростей.

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Рассчитать какая скорость передачи данных достигается при использовании алгоритма QAM-256, если символьная скорость равна 340 бод.
2. Докажите, что использование алгоритма модуляции CAP дает высокую помехоустойчивость и нечувствительность к групповому времени задержки.
3. Докажите, почему при использовании модуляции 2B1Q в абонентской линии нежелательно совмещение речи и передачи данных.
4. Докажите, что использование алгоритма CAP приводит к минимальному уровню помех на соседние пары.
5. Каким образом решена проблема межсимвольной интерференции в DMT-модуляции.
6. Перечислите ограничения, влияющие на скорость передачи по абонентской линии.
7. Каковы преимущества модуляции ТС-РАМ, каким образом они достигнуты.

8. За счет чего обеспечивается необходимый уровень электромагнитной совместимости сигналов в модуляции QAM
9. Сравните модуляции DMT и CAP
10. Перечислите области применений алгоритма модуляции TC-PAM

Тема 2. Расчет протяженности линии сети абонентского доступа

На цифровых абонентских линиях сети доступа применяется оборудование, использующие коды HDB-3, 2B1Q, CAP и PAM. Одной из основных задач организации каналов является решение проблемы электромагнитной совместимости цепей дискретной и аналоговой информации в одном кабеле.

В ансамбле цепей дискретной и аналоговой информации должны быть исключены взаимные влияния между цепями. Стандартизация и нормирование параметров качества каналов осуществляются Международным комитетом в составе МСЭ-МККТТ (ныне *ITU-T*).

К основным показателям качества цифровых систем передачи и коммутации относятся ошибки и готовность канала.

В рамках международных стандартов приняты следующие основные параметры качества ЦСП:

- BER (bit error rate) - параметр ошибок;
- *ES* (errored seconds) - "секунда с ошибками";
- *SES* (severally errored seconds) - "секунды, пораженные ошибками";
- *AS* (availability seconds) - "секунды готовности канала";
- *NAS* (nonavailability seconds) - "секунды неготовности канала".

Переходное затухание между цепями, уплотняемыми ЦСП, использующими многоуровневый код, рассчитывается по формуле:

$$A_0 = A_3 + \delta_3 + A_p + 10 \lg N, \text{ дБ}$$

где δ_3 - величина ухудшения характеристики отношения сигнал/шум, дБ

$$\delta_3 = 20 \lg(L-1)$$

$A_3 = 16,2$ дБ - защищенность (сигнал/шум), обеспечивающая теоретическую вероятность ошибки 10^{-10} ;

L - число уровней сигнала;

A_p - максимально допустимое рабочее затухание цепи;

N - количество уплотняемых каналов ЦСП в ансамбле;

Подставив в формулу выражение для δ_3 , получим:

$$A_0 = 16,2 + 20 \lg(L-1) + A_p + 10 \lg N, \text{ дБ}$$

Нормативные значения A_0, A_3, δ_3 для сигналов многоуровневых систем приведены в таблице

Виды кодирования	HDB3	2B1Q	CAP-128	PAM-16
a_3 , дБ	18	26	32	29

При расчете принято, что рабочее затухание в линии A_p для систем, использующих код 2В1Q, на частоте максимального сосредоточения энергии 40 кГц при скорости передачи 160 кБит/с должно составлять не более 42 дБ.

При рассмотрении требований ЭМС для САР модуляции экспериментально было установлено, что для оборудования, использующего такую модуляцию, для передачи цифрового потока со скоростью 2 Мбит/с сумма $A_3 + \delta_3$ должна быть не менее 27,4 дБ.

При запасе устойчивости 4,6 дБ, учитывающую нестабильность электрических характеристик линий, за расчетную принимается сумма защищенности и ухудшения защищенности $A_3 + \delta_3 = 32$ дБ.

Тогда переходное затухание на ближнем конце, обеспечивающее заданную верность передачи, определяется по формуле:

$$A_0 = 32 + A_p + 10 \lg N$$

Нормативная рабочая частота, используемая при расчетах и измерениях, определяется в соответствии с частотным спектром линейного сигнала. Для САР-128 она равна 160 кГц. При этом максимальное рабочее затухание в линии A_p на этой частоте должно быть не более 30 дБ.

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

В таблице приведены основные технические характеристики оборудования цифрового уплотнения абонентских линий с применением известной марки кабеля при организации тракта xDSL. Рассчитать протяженность абонентской линии.

N	Марка кабеля	Число каналов	код	Информ. скорость, кбит/сек	Рабочая частота, кГц	Максим. затухание, дБ	Сопрот. шлейфа, Ом
0	КСПЗП 1x4x0,64	4/5	2В/1Q	336	63	44	1150
1	КСПЗП 1x4x0,64	4/5	РАМ	336	63	44	1150
2	КСПЗП 1x4x0,64	4/5	САР	336	63	44	1150
3	КТПЗБб Шп	11/12	РАМ	784	150	31	870
4	КСПЗП 1x4x0,64	11/12	2В/1Q	784	150	31	870
5	КСПЗП 1x4x0,64	11/12	САР	784	150	31	870
6	КСПЗП 1x4x0,64	11/12	РАМ	784	150	31	870
7	ТПШ 50x2x0,5	11/12	2В/1Q	784	150	31	870

8	ТПП 50x2x0,5	11/12	РАМ	784	150	31	870
9	ТПП 50x2x0,5	11/12	САР	784	150	31	870

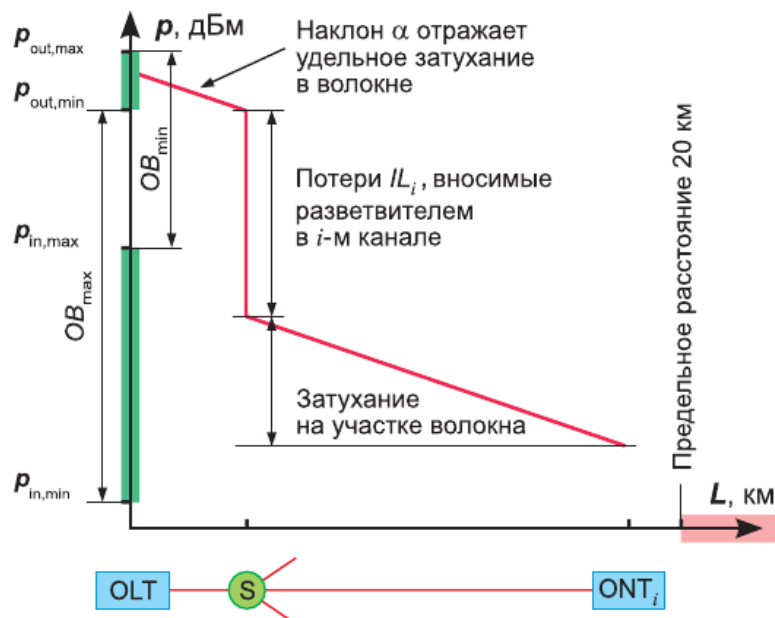
Тема 3 Расчет оптического бюджета сети PON

Расчеты затухания выполняются для оптической линии от подключения волокна на активном оборудовании (на передатчике) до самого удаленного абонента (на приемнике). В пассивной сети PON источниками потерь являются:

- полное затухание в оптическом волокне: зависит от его длины и коэффициента затухания волокна на определенной длине волны.
- полные потери в сростках (сварные соединения): зависят от потерь в каждом сростке и их общего количества.
- полные потери в соединителях (разъемные соединения): зависят от потерь в каждом соединителе и их общего количества.
- потери в разветвителях волокон: зависят от коэффициента разветвления.
- штрафные потери (потери на изгибы кабелей при прокладке).

Сумма всех потерь, возникающих на участке оптической сети, представляет собой энергетический бюджет затухания. Кроме того, при расчетах следует учитывать и эксплуатационный запас (дополнительные сростки и волоконные вставки при проведении ремонтных работ).

На рис. показана зависимость уровня мощности оптического сигнала по длине одного из каналов OLT-ONT i для сети с топологией «Звезда».



Оптический бюджет (optical power budget, OB) приемопередающего оборудования определяется как интервал $[OB_{\min}, OB_{\max}]$, измеряемый в дБ, где

$$OB_{\max} = p_{\text{out},\text{min}} - p_{\text{in},\text{min}}$$

$$OB_{\min} = p_{out,\max} - p_{in,\max}$$

Здесь $p_{out,\min}$, $p_{out,\max}$ – допустимый разброс мощностей передатчиков, а $p_{in,\min}$, $p_{in,\max}$ – допустимый уровень принимаемого сигнала на приемниках, при котором коэффициент ошибок (BER) не превышает заданный уровень. Волоконно-оптический канал связи удовлетворяет заданному бюджету, если потери мощности сигнала в канале связи, вследствие различных механизмов (затухание в волокне, потери на коннекторах, разветвителях и других компонентах) с учетом допустимых искажений сигналов попадают в интервал $[OB_{\min}, OB_{\max}]$.

Основной вклад в потери мощности вносит затухание в волокне. Удельное затухание (0,4 дБ/км на длине волны 1310 нм) задает наклон графика мощности. Таким образом, максимально возможное затухание сигнала обратного потока в волокне составляет 8 дБ = 0,4 дБ/км * 20 км.

Предельное удаление абонентских узлов на 20 км в сети PON с 32 абонентами является компромиссом между стремлением увеличить радиус охвата сети и приемлемым временем инициализации сети.

Самой ответственной задачей проектирования является расчет бюджета потерь и определение оптимальных коэффициентов деления всех разветвителей. Алгоритм расчета выглядит следующим образом:

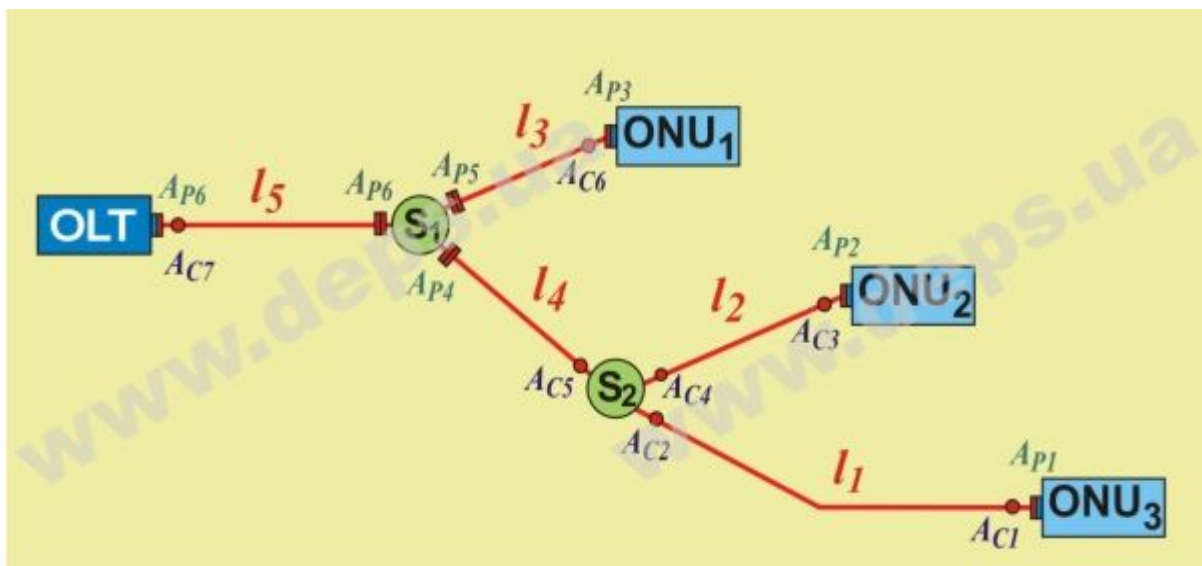
- расчет суммарных потерь для каждой ветви без учета потерь в разветвителях;
- поочередное определение коэффициентов деления каждого разветвителя, начиная с наиболее удаленных;
- расчет бюджета потерь для каждого абонентского терминала с учетом потерь во всех элементах цепи, сравнение его с динамическим диапазоном системы.

Поскольку обычно абоненты находятся на различном расстоянии от головной станции, то, при равномерном делении мощности в каждом разветвителе, мощность на входе каждого ONU будет различна. Подбор параметров разветвителей связан с необходимостью получения на входе каждого абонентского терминала сети примерно одинакового уровня оптической мощности, т.е. построить так называемую сбалансированную сеть. Это принципиально важно по двум причинам. Во-первых, для дальнейшего развития сети важно иметь примерно равномерный запас по затуханию в каждой ветви «дерева» PON. Во-вторых, если сеть не сбалансирована, то на стационарный терминал OLT от различных ONU будут приходить в общем потоке сигналы, сильно отличающиеся по уровню. Система детектирования не в состоянии обрабатывать значительные перепады (более 10-15 дБ) принимаемых сигналов, что значительно увеличит количество ошибок при приеме обратного потока.

При выборе коэффициентов деления разветвителей необходимо знать, какие потери будут вноситься в цепь при том или ином коэффициенте деления. Для примерного определения вносимых потерь двухконных (1310 нм и 1550 нм) разветвителей типа 1x2 воспользуемся следующей справочной таблицей.

Коэффициент деления, %	Оценочные вносимые потери, дБ	Разность вносимых потерь между выходными портами, дБ
50/50	3,6/3,6	0
45/55	4,1/3,1	1,0
40/60	4,7/2,7	2,0
35/65	5,3/2,4	2,9
30/70	6,0/1,9	4,1
25/75	6,9/1,6	5,3
20/80	7,9/1,3	6,5
15/85	10,0/0,9	9,1
10/90	11,3/0,6	10,7
5/95	15,2/0,4	14,8

Пример Определить параметры оптических разветвителей и произвести расчет оптического бюджета сети для проекта PON, представленного на следующем рисунке. Потери в разъёмных соединениях принять $A_P = 0,3$ дБ, потери на сварках - $A_C = 0,05$ дБ, коэффициент затухания оптического кабеля - 0,35 дБ/км на длине волны 1310 нм и 0,22 дБ/км на длине волны 1550 нм. Длины участков: $l_1 = 4$ км, $l_2 = 2$ км, $l_3 = 2$ км, $l_4 = 4$ км, $l_5 = 6$ км.



Произведем расчет потерь по приведенной выше формуле для каждой из трех цепей:

$$\text{OLT-ONU}_1: A_{\Sigma,1} = (6+2) \text{ км} \cdot 0,35 + 4 \cdot A_P + 2 \cdot A_C + A_{\text{ПА3-1}} = 8 \cdot 0,35 + 4 \cdot 0,3 + 1 \cdot 0,1 + A_{\text{ПА3-1}} = 4,1 + A_{\text{ПА3-1}}$$

$$\text{OLT-ONU}_2: A_{\Sigma,2} = (6+4+2) \text{ км} \cdot 0,35 + 4 \cdot A_P + 4 \cdot A_C + A_{\text{ПА3-1}} + A_{\text{ПА3-2}} = 12 \cdot 0,35 + 4 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,1 + A_{\text{ПА3-1}} + A_{\text{ПА3-2}} = 5,6 + A_{\text{ПА3-1}} + A_{\text{ПА3-2}}$$

$$\text{OLT-ONU}_3: A_{\Sigma,3} = (6+4+4) \text{ км} \cdot 0,35 + 4 \cdot A_P + 4 \cdot A_C + A_{\text{ПА3-1}} + A_{\text{ПА3-2}} = 14 \cdot 0,35 + 4 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,1 + A_{\text{ПА3-1}} + A_{\text{ПА3-2}} = 6,3 + A_{\text{ПА3-1}} + A_{\text{ПА3-2}}$$

Примечание. В расчетах должно использоваться большее значение α из условия примера (0,35 дБ/км).

Начнем с дальнего конца и подберем коэффициент деления разветвителя S2. Разность потерь без учета разветвителей $6,3 - 5,6 = 0,7$ дБ. Из справочной таблицы, исходя из разности вносимых потерь между выходными портами, выберем наиболее близкое значение – 1,0 дБ, что соответствует коэффициенту деления 45/55. Не следует особо стремиться к более точному указанию коэффициента деления, например 47/53. За счет значительного разброса параметров разветвителей вносимое затухание будет примерно такое же, как и при 45/50.

Из той же таблицы видно, что при направлении 45% мощности к ONU2, вносимое затухание от S2 составит 4,1 дБ. К ONU3 будет направлено 55% мощности, от S2 и вносимое затухание составит 3,1 дБ. Тогда:

$$\text{OLT-ONU}_1: A_{\Sigma-1} = 4,1 + A_{\text{РАЗ-1}}.$$

$$\text{OLT-ONU}_2: A_{\Sigma-2} = 5,6 + A_{\text{РАЗ-1}} + 4,1 = 9,7 + A_{\text{РАЗ-1}}.$$

$$\text{OLT-ONU}_3: A_{\Sigma-3} = 6,3 + A_{\text{РАЗ-1}} + 3,1 = 9,4 + A_{\text{РАЗ-1}}.$$

Самая большая разность уровней – между первой и второй цепью: $9,7 - 4,1 = 5,6$ дБ. Из справочной таблицы видим, что ближайшее значение разности вносимых потерь между выходными портами составит 5,3 дБ, что соответствует коэффициенту деления 25/75. Подставляя вносимые потери, соответственно 6,9 дБ и 1,6 дБ, получим:

$$\text{OLT-ONU}_1: A_{\Sigma-1} = 4,1 + 6,9 = 11,0 \text{ дБ};$$

$$\text{OLT-ONU}_2: A_{\Sigma-2} = 9,3 + 1,6 = 10,9 \text{ дБ};$$

$$\text{OLT-ONU}_3: A_{\Sigma-3} = 9,1 + 1,6 = 10,7 \text{ дБ}.$$

Таким образом, коэффициенты деления разветвителей S1 и S2 рассчитаны, а сеть можно считать сбалансированной, т.к. разброс между затуханиями цепей минимален.

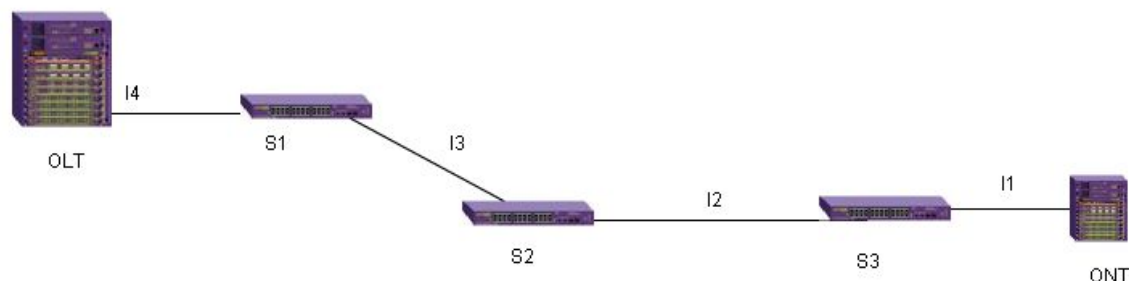
Проверим, не превышает ли бюджета потерь, включая запас, динамический диапазон системы. Учитывая, что для системы динамический диапазон составляет 29 дБ, получим:

$$29 \text{ дБ} \geq (11 + 3) \text{ дБ}.$$

Если условие подтверждается для цепи с наибольшим затуханием – OLT-ONU₂, следовательно, оно будет соблюдаться и для других вариантов цепей. Как видно из примера, задача расчета разветвителей и бюджета мощности не содержит сложных математических операций и может быть выполнена даже вручную. При расчете достаточно большой сети рекомендуем составить в MS Excel (или другом удобном приложении) табличку с расчетами всех составляющих по каждой оптической цепи.

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

Рассчитать оптический бюджет для проектируемой сети и определить параметры разветвителей:



Данные для расчета:

№ варианта	L4	L3	L3	L1
0	2 км	600м	600м	100м
1	1км	900м	300м	200м
2	2км	300м	500м	100м
3	1км	600м	600м	100м
4	2км	900м	300м	200м
5	3км	300м	500м	100м
6	2 км	200м	600м	100м
7	1км	300м	300м	200м
8	1км	300м	500м	100м
9				

