

Расчёт длин регенерационных участков цифровых абонентских линий технологии xDSL

О. В. Соболева, Г. Н. Попов, В. И. Сединин

Данная статья приводит расчёт длин регенерационных участков для различных способов кодирования в цифровых системах передачи абонентских линий, которые определены технологией xDSL. Расчёт производится для четырёх способов кодирования при различной загрузке кабеля.

1. ВВЕДЕНИЕ

Цифровые системы передачи абонентских линий (ЦСП-АЛ) используются на сетях связи для повышения пропускной способности абонентских линий ГТС. Совокупность особенностей аппаратуры ЦСП-АЛ определяется технологией xDSL (Digital Subscriber Line или Digital Subscriber Loop – цифровая абонентская линия), где "x" в аббревиатуре xDSL означает версию технологии – S, A, H, V, MS и т.д. [1].

Оконечное каналообразующее оборудование ЦСП технологии xDSL строится с использованием индивидуальных кодеров-декодеров (кодеков), обеспечивающих организацию стандартных ОЦК со скоростью передачи 64 кбит/с. В малоканальных цифровых системах уплотнения канальные сигналы мультиплексируются (объединяются) в групповой ИКМ-сигнал, обеспечивающий передачу 2, 4, 8 или 16 каналов ОЦК. Такие многоканальные (или широкополосные) цифровые системы связи позволяют обеспечить двустороннюю передачу сигналов на скоростях от 2048 кб/с до 8448 кб/с и даже до десятков мегабит в секунду (20÷50 Мбит/с) с предоставлением абоненту соответствующего количества ОЦК, например, 30 ОЦК в первичном групповом тракте Е1 (2048 кб/с), или широкополосных цифровых трактов со скоростями передачи: 2048 кб/с, 8448 кб/с, 34368 кб/с. В современных ЦСП-АЛ для эффективной передачи высокоскоростных цифровых потоков на дальние расстояния широко применяются специальные многопозиционные технологии линейного кодирования: 2B1Q, TC-PAM и CAP (QAM) [1]. Разработанная первой технология 2B1Q остаётся широко распространённой в западноевропейских странах и США. Она изначально использовалась в сетях ISDN для передачи 144 кб/с (ISDL), а затем была модифицирована для передачи более высокоскоростных потоков. В странах Восточной Европы, Южной Америки и Азии, ввиду большой протяжённости абонентских и соединительных линий и, как правило, более низкого качест-

ва уложенных кабелей, большим спросом пользуются системы HDSL, базирующиеся на технологии CAP.

2. КОДИРОВАНИЕ TC-PAM

Наилучшими на сегодняшний день характеристиками дальности и электромагнитной совместимости при работе на однопарных абонентских линиях обладает кодирование TC-PAM [2]. Процесс формирования канальных сигналов в этой системе кодирования получил название импульсной амплитудно-фазовой модуляции с так называемым решётчатым кодированием (кодированием Треллис, Trellis coded modulation). Суть данного метода кодировки состоит в увеличении числа уровней (кодовых состояний) с 4 (как в 2B1Q) до 16 и применении специального механизма коррекции ошибок.

Решётчатое кодирование применяется в качестве внутреннего кода микропроцессора, формирующего сигнал TC-PAM 16. Его преимуществами является повышенная помехозащищённость и снижение задержки сигнала при его обработке. Опыт внедрения указанной технологии показал, что соотношение сигнал/шум возрастает на 3 – 6 дБ по сравнению с системами передачи, использующими HDSL. Данная технология позволяет в 3 раз уменьшить скорость передачи, что соответственно позволяет в 3 раза увеличить длину регенерационного участка при сохранении нормированных требований к его рабочему затуханию и уровню переходных влияний. Кроме того, при работе по одному многопарному кабелю нескольких систем, использующих сигнал TC-PAM 16 и других ЦСП, уменьшаются их взаимные влияния. Применение системы кодирования TC-PAM и смещения частот для нисходящего и восходящего трафика предоставляет возможность оптимально использовать отведённую полосу частот. В отличие от кодирования 2B1Q или CAP, которые применяются в HDSL, спектр сигнала при этом кодировании локализован в более узкой полосе частот. Это позволяет избежать перекрёстных помех (при совместной работе на одном кабеле) с оборудованием, функционирующем по другим DSL-технологиям. Считается, что такой метод модуляции гарантирует почти предельную скорость передачи [1].

Входящие в состав семейства модули с различными сетевыми интерфейсами (G.703, N x 64 (V.35/V.36/X.21) и

Ethernet 10Base-T) могут использоваться в качестве систем передачи между оборудованием мультиплексирования, маршрутизации и кросс-коммутации в сетях различного назначения, а именно:

- для организации каналов E1 (2048 кбит/с) между АТС, оборудованием абонентского выноса, TDM-мультиплексирования и базовыми станциями мобильных сетей, а также подключения их к сетям SDH.
- для организации высокоскоростных каналов связи в сетях передачи данных и соединения узлов доступа Internet-провайдеров.
- для подключения удалённых рабочих станций (компьютеров) и небольших Ethernet-сетей филиалов к единой компьютерной сети организации, объединения сегментов IP- и IPX-сетей, предоставления доступа в Internet и т.д.

Технология TC-PAM лежит в основе первого всемирного стандарта ITU на высокоскоростную симметричную передачу по одной паре – G.shdsl [2]. Новая технология TC-PAM позволяет выбирать линейную скорость в диапазоне от 192 кбит/с до 2,3 Мбит/с (шаг 8 кбит/с) и имеет более узкий частотный спектр, чем предшествующие ей технологии 2B1Q и CAP. Таким образом обеспечивается большая дальность работы и электромагнитная совместимость с другими DSL-технологиями, такими как ISDN или ADSL и G.lite.

Многочисленные испытания подтверждают, что в реальных условиях применения новый тип линейного кодирования TC-PAM даёт наилучшие результаты в сравнении с известными ранее методами 2B1Q и CAP. Работа оборудования, основанного на новой технологии модуляции TC-PAM, отличается повышенной устойчивостью к помехам в линии, и, следовательно, приводит к увеличению дальности работы модемов без применения дополнительных репитеров.

Существенное ограничение спектра сигнала, передаваемого в линию, по сравнению с 2B1Q и, тем более – HDB3, как в области высоких, так и низких частот объясняет основные преимущества оборудования, использующего модуляцию TC-PAM.

- Повышение дальности работы, обусловленное тем, что более низкочастотный (по сравнению с 2B1Q и HDB3) сигнал меньше ослабляется кабельной линией.
- Благодаря отсутствию в спектре высокочастотных составляющих обеспечивается нечувствительность к высокочастотным и импульсным шумам, радиоинтерференции, значительное снижение перекрёстных помех.
- Отсутствие взаимовлияния в низкочастотной части спектра, традиционно используемой для аналоговой передачи телефонных разговоров и сигнализации. Выходная мощность в 5 раз ниже, чем у 2B1Q (1–3 мВт).
- Нечувствительность к низкочастотным наводкам от силовых установок и электрических сетей.

Выше перечисленные преимущества оборудования передачи, использующего TC-PAM кодирование сигнала, обеспечивают:

- уменьшение количества регенерационных пунктов по сравнению с оборудованием, использующим HDB3 при

том же количестве передаваемых каналов в 3 раза и одновременное высвобождение одной пары;

- увеличение количества каналов, организуемых на тех же парах на том же расстоянии в 3 раза;
- отсутствие помех;
- высокую помехозащищённость при работе по воздушным линиям.

3. МЕТОДИКА РАСЧЁТА ДЛИН РЕГЕНЕРАЦИОННЫХ УЧАСТКОВ

Рассмотрим методику расчёта длин регенерационных участков при совместной работе ЦСП-АЛ по многопарным электрическим кабелям ГТС при различных технологиях кодирования. Допустимую защищённость будем рассчитывать при использовании одной и той же скорости передачи $B=2048$ кбит/с.

Допустимая защищённость определяется формулой [1]

$$A_{з.доп} = 4,63 + 11,42 \lg(\lg P_{ош.рег}^{-1}) + 20 \lg(L - 1). \quad (1)$$

где $P_{ош.рег}^{-1}$ – предельно допустимая вероятность ошибки.

Для абонентских линий вероятность составляет 10^{-7} ;

L – число уровней линейного сигнала.

Допустимая вероятность ошибки для различных длин цифрового линейного тракта равна

$$P_{ош.л.доп} = LP_{ош.доп}, \quad (2)$$

где: L – длина цифрового линейного тракта ($1 \div 64$ км);

$P_{ош.доп}$ – допустимая вероятность ошибки (10^{-7}).

Используя формулы (1) и (2), рассчитаем допустимую защищённость ГТС при различных технологиях кодирования. Результаты расчётов сведём в таб. 1.

Расчёт ожидаемой защищённости будем производить для кабеля типа ГПП 10×2×0,5 при организации цифрового линейного тракта по однокабельной системе со скоростью передачи 2048 кбит/с [3].

Таблица 1. Результаты расчёта допустимой защищённости для кода 2B1Q

L, км	1	2	3	4	5	6
$P_{ош.л. доп}$	1×10^{-7}	2×10^{-7}	3×10^{-7}	4×10^{-7}	5×10^{-7}	6×10^{-7}
$A_{з.доп}$, дБ (код 2B1Q)	23,82	23,61	23,47	23,38	23,3	23,24
$A_{з.доп}$, дБ (код QAM-16)	20,3	20,08	19,95	19,86	19,76	19,7
$A_{з.доп}$, дБ (код CAP-64)	33,35	33,14	33,02	32,91	32,84	32,77
$A_{з.доп}$, дБ (код TC-PAM 16)	29,84	29,62	29,49	29,4	29,32	29,26

При однокабельном режиме работы наиболее существенны влияния на ближнем конце A_0 , зависящие от переходного затухания на ближнем конце. Величина защищённости от переходных помех на ближнем конце A_{30} , может быть рассчитана по следующим формулам:

$$A_{30} = A_0 - A_{py} - 20 \lg m - \sigma_0, \quad (3)$$

$$A_{30} = A_0 - A_{py} - 10 \lg m - \sigma_0, \quad (4)$$

где A_0 – переходное затухание на дальнем конце на расчётной частоте;

$10 \lg$ – член, учитывающий суммирование по мощности; используется в случаях, когда число влияющих систем более 4;

$20 \lg$ – член, учитывающий суммирование по напряжению; используется в случаях, когда число влияющих систем более 4;

m – число влияющих систем;

σ – среднее квадратическое отклонение переходного затухания кабеля;

A_{py} – переходное затухание на регенерационном участке (дБ/км), которое определяется по формуле:

$$A_{py} = \alpha_{fp} l_{py}, \quad (5)$$

где α_{fp} – километрическое затухание кабеля на расчётной частоте f_p ;

l_{py} – длина регенерационного участка.

Таблица 2. Значения расчётной частоты для разных типов кодирования

Код 2B1Q	$f_p = 512 \text{ кГц}$	L_{py} км м	1	2	3		
		2	45,89	33,19	20,48		
		5	44,9	32,22	19,52		
		10	41,91	29,21	16,51		
Код QAM-16	$f_p = 256 \text{ кГц}$	L_{py} км м	1	2	3	4	5
		2	55,4	46,2	37	27,8	18,6
		5	54,4	45,2	36	26,8	17,6
		10	51,4	42,21	33,1	23,8	14,6
Код CAP-64	$f_p = 170,6 \text{ кГц}$	L_{py} км м	1	2	3		
		2	51,74	41,33	30,95		
		5	50,75	40,34	29,95		
		10	47,74	37,35	26,93		
Код TC-PAМ 16	$f_p = 341 \text{ кГц}$	L_{py} км м	1	2	3	4	5
		2	60,38	52,61	44,86	37,1	29,34
		5	59,41	51,65	43,89	36,13	28,37
		10	56,4	48,64	40,88	33,12	25,36

$$A_{0(f_p)} = A_{0(1 \text{ МГц})} + 20 \lg \frac{1}{f_p}, \text{ дБ}, \quad (6)$$

где $A_{0(1 \text{ МГц})}$ – переходное затухание на ближайшем конце на частоте 1 МГц;

f_p – расчётная частота соответствует частоте максимума энергии сигнала. Она определяется по формуле

$$f_p = 0,5 \frac{f_T}{m}, \text{ кГц}, \quad (7)$$

где m – коэффициент, показывающий, во сколько раз уменьшается спектр исходного сигнала.

Расчётные значения этой частоты для разных типов кодирования приведены в таб. 2.

По данным таб. 2 построены графики зависимости ожидаемой защищённости от длины регенерационного участка для рассматриваемых типов кодирования (рис. 1 – 4).

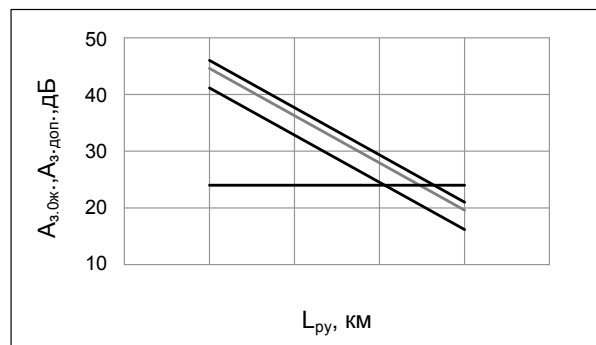


Рис. 1. Зависимости ожидаемой защищённости от длины линии для кода 2B1Q

Анализ результатов, приведённых на данных рисунках, позволяет провести сравнение ожидаемой защищённости с величиной допустимой защищённости для различных кодов. Учитывая, что допустимая защищённость должна быть меньше, чем ожидаемая, из представленных рисунков можно оценить длину регенерационного участка при совместной работе двух, пяти и десяти систем [4]. Эти данные приведены в таб. 3.

Таблица 3. Длина регенерационного участка при совместной работе двух, пяти и десяти систем для разных видов кодирования

Код	Количество одновременно работающих систем N	Длина регенерационного участка L , в километрах
Код 2B1Q	2	2,8
	5	2,78
	10	2,45
Код QAM-16	2	4,9
	5	4,7
	10	4,45
Код CAP-64	2	4,5
	5	4,4
	10	4,0
Код TC-PAМ 16	2	3,15
	5	3,0
	10	2,75

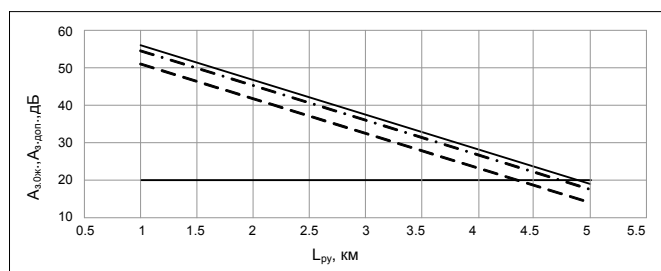


Рис. 2. Зависимость ожидаемой защищённости от длины линии для кода QAM-16

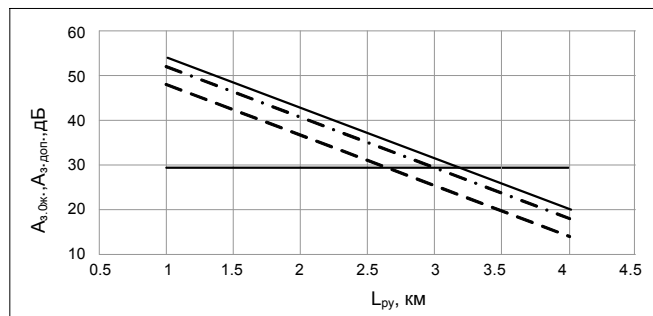


Рис. 3. Зависимость ожидаемой защищённости от длины линии для кода TC-PSK 16

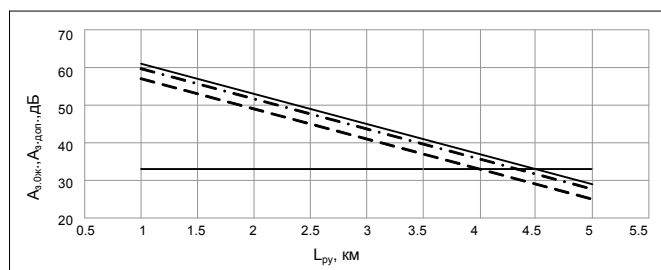


Рис. 4. Зависимость ожидаемой защищённости от длины линии для кода CAP-64

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчёт производился для четырёх способов кодирования: 2B1Q, QAM, CAP, TC-PSK – при передаче сигналов по кабелю марки ТПП 10х2х0,5 при загрузке кабеля: 2 пары, 5 пар, 10 пар.

Из расчётов видно, что при максимальной загрузке кабеля марки ТПП 10х2х0,5 и использовании технологии кодирования 2B1Q длина регенерационного участка составляет 2,45 км, при технологии QAM-16 – 4,45 км, при технологии TC-PSK 16 – 2,75, при технологии CAP-64 – 4 км. Из этого следует, что технология CAP-64 имеет преимущество в длине регенерационного участка.

Из приведённых выше сравнений можно сделать вывод, что при использовании технологии QAM-16 достигается наибольшая длина регенерационного участка, а следовательно, он наиболее выгоден для использования в системах передачи xDSL.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов Г.Н. Телекоммуникационные системы передачи. Часть 1. 2-ое издание. – Новосибирск, ВЕДИ, 2006
2. Кириллов В.И., Белко А.И. Эффективность использования CAP (QAM) технологий для ЦСП проводного и беспроводного абонентского доступа. Электросвязь, 2003, № 10.

3. Кириллов В. И., Белко А. И. Расчёт длин регенерационного участка для ЦСП по технологиям HDSL и SDLS. Электросвязь, 2001, №10.
4. Козвонин Н. А., Парвенов Ю. А. Автоматизация измерений линий DSL. Электросвязь, 2006, №2.

Соболева Ольга Валерьевна

доцент кафедры САПР СибГУТИ, (630102, Новосибирск, ул. Кирова, 86) тел. (383) – 269-82-59.

Попов Георгий Николаевич

д.т.н., профессор кафедры МЭС и ОС СибГУТИ, (630102, Новосибирск, ул. Кирова, 86), тел. (383) – 269-82-52.

Сединин Валерий Иванович

д.т.н., профессор кафедры САПР СибГУТИ, (630102, Новосибирск, ул. Кирова, 86), тел. (383) – 269-82-68.