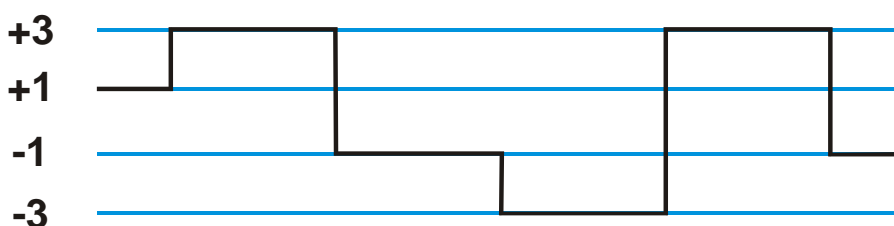


## Технология SHDSL и трансиверы SOCRATES компании Infineon

### Обзор xDSL технологий

XDSL технологии, доступные для коммерческого использования появились в начале 90-х годов. Первыми трансиверами были решения для ISDN станций – так называемые U-интерфейсы. Их новизна была в том, что в них использовалась цифровая обработка сигнала и адаптивная система эхоподавления. Это сделало возможным передавать цифровой поток в дуплексе по одной витой паре, проложенной в городских телефонных кабелях на большие расстояния. То есть, не требовалась модификация кабельного хозяйства – использовалась обычная телефонная инфраструктура. Вскоре область применения этих микросхем расширилась и их стали использовать производители как телекоммуникационного так и сетевого оборудования. Решения на базе компонентов U-интерфейсов ISDN получили название iDSL. Типовой iDSL трансивер поддерживает передачу 144Кбит/с потоков 2B+D на расстояния до 8.5км (по типовому для городов кабелю ТПП-05 с диаметром жил 0.5мм). В качестве кода модуляции используется 2B1Q – это четырехуровневый код, где каждый отсчет сигнала в линии несет информацию о двух передаваемых битах.



Для своего времени трансиверы iDSL обеспечивали оптимальные параметры по соотношению скорость/дальность. Кроме того, они были дешевы (до недавнего времени), поскольку широко использовались для массового производства ISDN станций и устройств доступа. До сих пор существует масса решений на базе iDSL.

Требования к передаче данных с большими скоростями привели к дальнейшему развитию DSL технологий и стали появляться трансиверы ADSL, VDSL и HDSL. Технологии ADSL и VDSL предназначены для работы на высоких скоростях и используют QAM модуляцию (похожую на амплитудно-кодированную модуляцию с подавлением несущей для радиосистем). Ввиду этой специфики они способны работать на относительно коротких линиях и нашли применение только в сетевом оборудовании. Мы их рассматривать не будем.

Системы HDSL явились развитием iDSL и появились на рынке в конце 90-х годов. Они использовали ту же структурную схему и все тот же код 2B1Q, но работали с большими скоростями на линии. Как правило это была скорость 2.048Мбит/с. Основной рынок этих трансиверов был в области телекоммуникаций – происходила замена несовершенных магистральных трансиверов E1 и систем частотного уплотнения на HDSL. Поскольку HDSL позволял передавать двухмегабитный поток на расстояния 7-15 км по магистральным линиям (такая дальность достигалась вследствие использования толстого провода в магистральных кабелях - 0.9 или 1.2мм), исключались регенераторы. Также высвобождались пары в магистральных кабелях и по ним операторы начали передавать востребованный IP трафик. Трансиверы HDSL не были так дешевы, как iDSL, поскольку не использовались в массовых продуктах – станциях и оборудовании доступа.

### Новый стандарт g.shdsl

До 2000 года все стандарты DSL были внутренними для каждого производителя трансиверов DSL. Решения разных производителей были несовместимы друг с другом. Однако консорциум, в который вошли все крупные такие производители, в 2000 году выработали общий стандарт, который был принят ITU. Новый стандарт получил название g.shdsl. Сегодня на документы этой серии опираются все разработчики DSL трансиверов.

Чтобы “оживить стандарт” члены консорциума (Infineon, Metalink, Globespan) к моменту его принятия вывели на рынок свои трансиверы SHDSL.

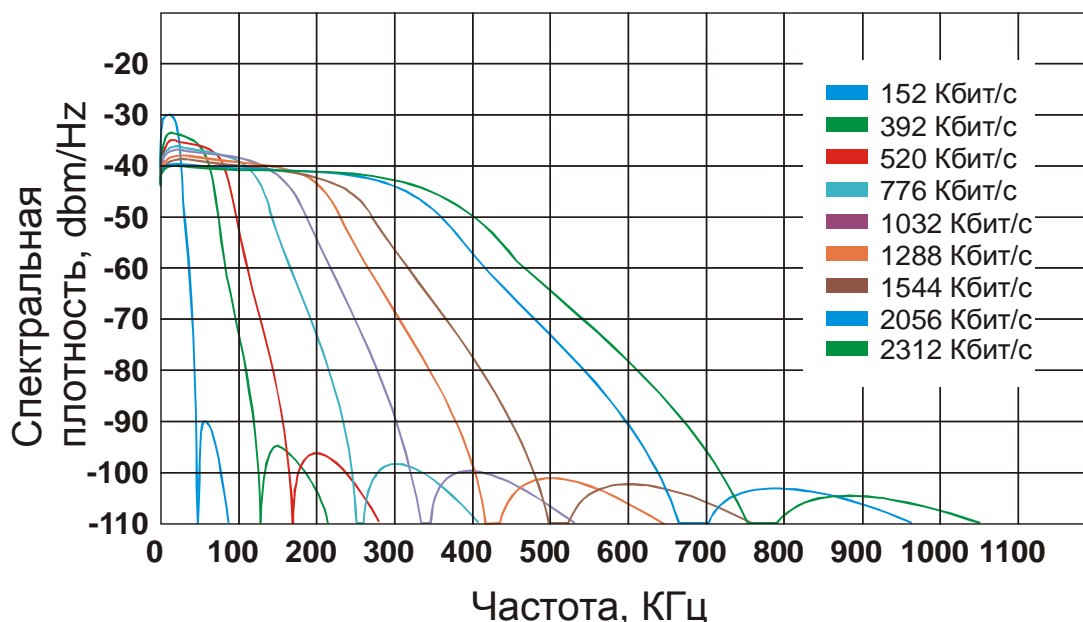
Новая технология SHDSL опирается на достижения в области обработки сигнала и по архитектуре напоминает современные радиосистемы. Новый стандарт учел последние достижения микроэлектроники, что значительно расширило спектр применения трансиверов. Они стали использоваться сразу в сетевом и телекоммуникационном оборудовании, и, что особенно важно, – в устройствах сетевого доступа DSLAM, то есть в массовой продукции. Этот факт привел к снижению цены на трансиверы SHDSL и, как следствие, к быстрому вытеснению технологий iDSL и HDSL. На сегодня станции ISDN и все, что с этим связано (имеются

в виду трансиверы 2B+D) снимаются с производства. Для примера: цена iDSL трансивера Motorola MC145572 – 19\$/шт, цена SHDSL трансивера Infineon – 20\$/шт. при значительном выигрыше по всем параметрам! Также нет смысла в использовании HDSL, поскольку новый стандарт подмял под себя возможности этой технологии, и использование новых трансиверов значительно удешевляют системы.

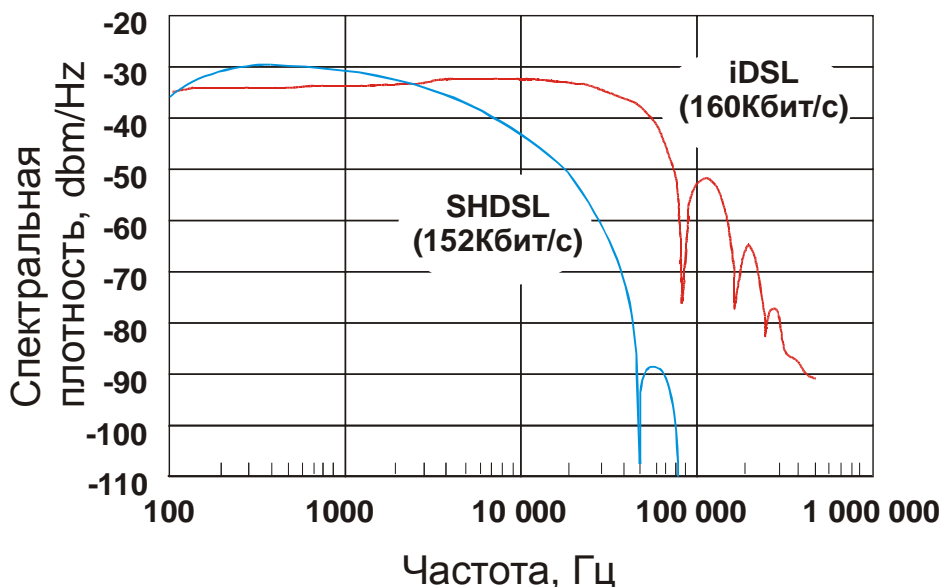
В чем особенность нового стандарта:

1. Использование кода TC-PAM вместо 2B1Q.

Новая система кодирования позволяет устранить недостатки, свойственные 2B1Q, а именно спектральную несовместимость скоростных приложений 2B1Q с существующими службами ADSL и VDSL. Если в парах, находящихся в одном кабеле работают несколько таких служб, то возникает их взаимное влияние. Связано это с совпадением участков спектра их сигналов, и как следствие к ухудшению отношения сигнал/шум (SNR) на приеме. Код TC-PAM по принципу кодирования аналогичен 2B1Q за исключением того, что 1 отсчет сигнала несет информацию о четырех передаваемых битах – то есть количество возможных уровней сигнала на передаче – 16, а не 4 как раньше.. На рисунке ниже показаны спектральные плотности сигнала (PSD Power Spectrum Density) в коде TC-PAM на разных скоростях.



Некоторые трансиверы (в частности, Infineon) позволяют изменять тип кодирования. Кроме стандартного рассмотренного варианта TC-PAM16, они позволяют использовать либо TC-PAM8, где один отсчет несет информацию о трех битах данных, либо TC-PAM32, где один отсчет несет информацию о пяти битах данных. Такое изменение типа кодирования соответствует изменению параметра constellation. Несмотря на то, что эти возможности не входят в рамки стандарта, они позволяют или дополнительно увеличивать длину линии на низкой скорости или увеличивать скорость передачи на коротких линиях. Также надо отметить, что по сравнению с 2B1Q спектр сигнала TC-PAM16 имеет более высокую энергетическую, а следовательно, и информационную плотность на нижних частотах. На рисунке показана спектральная плотность PSD сигнала SHDSL TC-PAM16 и сигнала трансивера iDSL 2B1Q. Скорости и условия измерений, для которых приведены PSD, примерно одинаковы. Видно, что для TC-PAM большая часть энергии сигнала приходится на более низкие частоты, чем для 2B1Q.



Это объясняет заведомо лучшие характеристики трансиверов SHDSL по дальностям, поскольку затухание в линиях зависит от частоты – на высоких частотах затухание сигнала больше.

## 2. Возможность изменения скорости передачи.

Эта возможность выгодно отличает SHDSL от iDSL и HDSL. Пользователь может выбирать скорость в линии самостоятельно в пределах от 192Кбит/с (3В) до 2304Кбит/с (36В + 1Z). Под каналом В понимается поток 64Кбит/с, что соответствует 8 битам (его называют также канальным интервалом) на TDM, под каналом Z понимается поток 8Кбит/с, что соответствует 1 биту на TDM. Скорость может выбираться с дискретностью в 1Z, то есть с шагом 8Кбит/с. Например, поток 7В+3Z соответствует  $7*64+3*8=472$ Кбит/с. Трансиверы имеют возможность автоматического выбора скорости передачи – PMMS (Power Measurement and Modulation Session). Это стандартная процедура, которая может выполняться перед установлением соединения. В процессе ее работы трансивер промеряет линию на нескольких частотах и определяет максимальную скорость, на которой возможна работа в данном случае. В качестве оценочных параметров выступают отношения сигнал/шум на каждой из частот.

Возможность ручного или автоматического выбора скорости позволяет подстраивать SHDSL оборудование под конкретные условия эксплуатации – низкие скорости для протяженных и низкокачественных линий, высокие скорости – для коротких линий. В трансиверах iDSL и HDSL такая работа невозможна из-за ограничений технологий микроэлектроники на момент их разработки.

## 3. Возможность выбора мощности передаваемого сигнала.

Смысл в понижении мощности состоит в том, что если DSL оборудование работает на короткой линии, то передаваемый сигнал может иметь пониженную мощность, чтобы не мешать другим цифровым службам, существующим в том же кабеле. Такая возможность появилась уже в некоторых HDSL трансиверах. Надо отметить, что понижение мощности для SHDSL сравнительно редко используется на практике, поскольку используемый код TC-PAM16 имеет очень хорошую спектральную совместимость со всеми стандартами DSL. Трансиверы SHDSL Infineon в дополнение к возможностям понижения мощности, позволяют увеличивать мощность передачи. В ряде случаев это позволяет увеличивать длину линии. Кроме выбора фиксированной мощности передачи в стандарт g.shdsl введена возможность ее автоматического выбора. Процедура автоматического понижения скорости PBO (Power Back-Off) может автоматически определять минимальную мощность на передаче.

## 4. Процедура согласования параметров

Это – новая функция, ранее не существовавшая ни в iDSL, ни в HDSL системах. Перед тем, как трансивер SHDSL начнет соединяться с удаленной стороной, обе стороны производят обмен некоторыми структурами данных, содержащими поддерживаемые и желаемые режимы работы. Обмен выполняется с использованием низкочастотной модуляции наподобие той, что применяют в телефонных модемах. Частота несущей в сессии согласования параметров выбрана около 4КГц. Сигнал такой низкой частоты практически не затухает на линиях любой длины, пригодных для работы SHDSL. Это обеспечивает выполнение согласования параметров, даже если впоследствии трансиверам не удастся соединиться на минимальной скорости. Процедура согласования параметров, введенная в стандарт, решает множество задач:

- Наличие надежной сессии обмена до установления соединения полезно тем, что позволяет обнаруживать обрыв или повреждение на линии.
- Обеспечение совместимости между оборудованием разных производителей.
- Возможность заказа качества услуг: скорости соединения, желаемого коэффициента ошибок, мощности сигнала и т.д.
- Сессия согласования параметров работает совместно с упомянутыми выше процедурами PMMS и PBO. Алгоритмы их работы требуют согласованных операций трансиверов на обеих сторонах соединения. Синхронизация между сторонами производится посылкой специальных сообщений, являющихся частью низкочастотной сессии согласования параметров. При использовании PMMS сессия согласования удлиняется, поскольку трансиверы обмениваются результатами измерений линии.
- Наличие сессии согласования позволяет строить эффективные регенераторы SHDSL в случае, если линия имеет слишком большую длину. Если установлено несколько регенераторов, то возникает проблема несогласованности их работы. Сессия согласования параметров предусматривает такие варианты с регенерацией и производится таким образом, что все трансиверы цепочки после завершения обмена структурами данных с параметрами, имеют один и тот же режим.

Таким образом, анализируя возможности современной SHDSL технологии, можно сделать вывод о значительном улучшении функциональности по сравнению с технологиями, существовавшими до принятия стандарта. Отсутствие разницы в цене с трансиверами iDSL делает использование последних бесперспективным. Стоит также учесть факт снятия iDSL трансиверов с производства рядом производителей. В частности Infineon заявил о снятии своего PEB2091N V5.3. А этот трансивер обеспечивает хорошие характеристики по дальности и до последнего времени стоил недорого. Также надо учесть динамику снижения стоимости SHDSL трансиверов. Для SOCRATES PEF22622 от Infineon цена в 2000г – 60евро, в 2003г – 30евро, в 2005г – 16евро.

## **Трансиверы SOCRATES Infineon.**

Однокристалльный трансивер SHDSL PEF22622 семейства SOCRATES имеет заслуженную популярность среди отечественных производителей телекоммуникационного и сетевого оборудования. Трансивер обеспечивает устойчивую работу по городским линиям с диаметром проводов 0.4-0.5мм и по магистральным линиям с диаметром проводов 0.9-1.2мм. Дальность соединения зависит от скорости передачи и лежит в пределах от 6.2км на 2312Кбит/с до 9.5км на 192кбит/с (для кабеля ТПП 05 - типового для городов). Скорость соединения может задаваться как вручную, так и выбираться автоматически (PMMS), в зависимости от протяженности линии. Трансивер PEF22622 обеспечивает работу с портом РСМ со скоростями до 10240МГц и поддерживает синхронный и плездохронный режимы работы. Гибкая настройка порта РСМ позволяет использовать PEF22622 практически в любых системах передачи без дополнительного преобразования формата и скорости данных.

PEF22622 является однокристалльным (не все трансиверы состоят из одной микросхемы. Бывает 2, реже 3), имеет небольшую потребляемую мощность, полностью поддерживает стандарт g.shdsl. Также в трансивере реализованы дополнительные функции, которые можно задействовать для улучшения свойств системы передачи: выбор кода TC-PAM8-16-32, повышение мощности передачи. Трансивер занимает на плате очень мало места, что позволяет делать более дешевые интерфейсные платы. Также есть очень хорошая особенность, заключающаяся в том, что PEF22622 использует для преобразования частот встроенную цифровую ФАПЧ, в отличие от многих iDSL и HDSL трансиверов: Это позволяет обходиться без кварцевых изделий, с поставкой которых всегда были трудности. К достоинствам данного трансивера можно отнести также долгое время до снятия микросхем с производства.

Основной недостаток PEF22622 – долгий цикл разработки из-за сложности программирования. Средства, предлагаемые Infineon в качестве оценочных плат, имеют значительную избыточность и дорого стоят. Сложность ПО от Infineon и запутанность кода очень затрудняют анализ и перенос ПО на платформы разработчиков. Услуги, предлагаемые нашей компанией, позволяют снять для вас все проблемы такого рода. В плане недостатков схемотехники можно выделить факт наличия большого количества пассивных компонентов в обвязке, что усложняет плату и немного удорожает поставку компонентов и сборку. Имеются требования к точности и параметрам пассивных компонентов, если эксплуатация окончания производится в промышленном температурном диапазоне. Есть также нехорошее требование к печатной плате: она должна быть многослойной. Однако к недостаткам это отнести нельзя, так как это обычное дело при использовании современных аналого-цифровых микросхем такого уровня сложности.

## **Работа трансивера PEF22622**

Трансивер состоит из двух частей – аналоговой и цифровой, объединенных на одном кристалле. Аналоговая часть, включает драйвер линии, первичную систему эхоподавления, приемник с системой управления усилением, АЦП и ЦАП с входным и выходным фильтрами. Цифровая часть, реализованная на базе мощного сигнального процессора. Она включает в себя фреймер РСМ, скремблер для улучшения энергетических свойств передаваемого сигнала, устройства кодирования/декодирования по алгоритму Витерби для выработки TC-PAM и внесения избыточности в передаваемый сигнал, интерполяторы для лучшего обнаружения ошибок, адаптивный эквалайзер для динамического отслеживания изменяющихся условий приема сигнала и адаптивную систему эхоподавления для обеспечения возможности работы в дуплексе по одной паре. Также цифровая часть имеет цифровую ФАПЧ, модем для поддержания сессии согласования параметров и средства для передачи данных в специальных каналах. Особенности функционирования цифрового ядра являются конфиденциальной информацией Infineon.

Использование трансивера PEF22622, как и любого другого, предполагает наличие процессора, производящего управление его работой.

Алгоритм установления соединения такой:

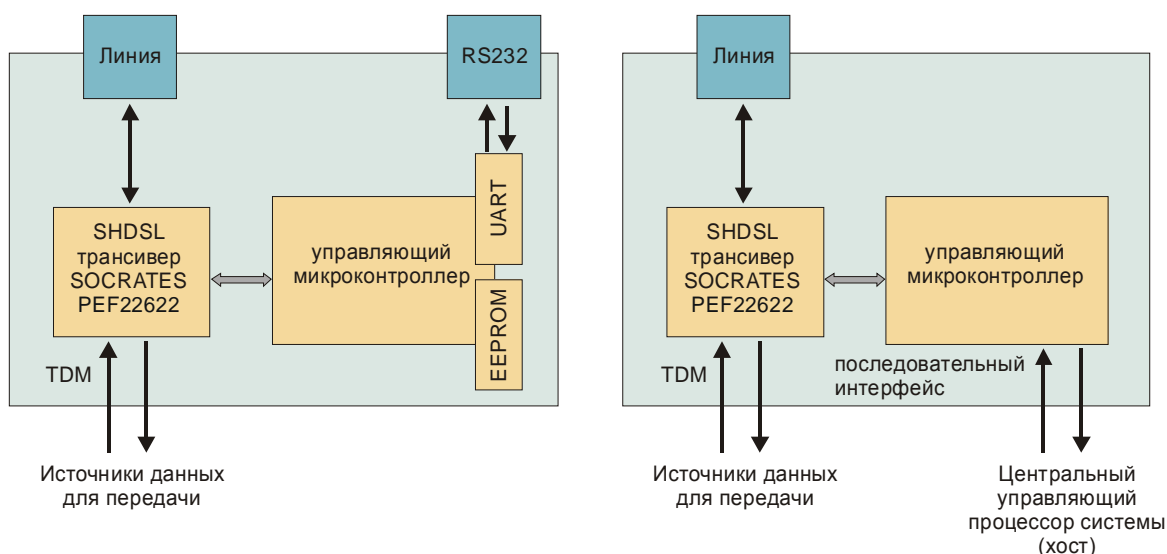
1. Управляющий микроконтроллер производит инициализацию трансивера и запускает протокол установления соединения. Трансиверы переводятся в нужные режимы работы, подготавливается блок данных с параметрами, который будет посылаться на удаленную сторону во время согласования параметров.
2. Трансивер выполняет низкочастотную сессию согласования параметров и, возможно, PMMS и PBO. В ходе сессии обе стороны согласовывают значение скорости, на которой будет устанавливаться соединение, режимы синхронизации и ряд других параметров.
3. Трансивер на выбранной в результате согласования параметров скорости начинает процесс, называемый training. Стороны соединения обмениваются кодовыми посылками заведомо известного содержания, и приемная часть каждого трансивера выбирает коэффициент усиления, настраивает адаптивную систему эхоподавления и эквалайзер. Передача тестовых посылок производится под управлением таймеров

трансиверов, синхронизирующихся в момент передачи/приема первой посылки. Training продолжается до установления соединения.

- Если после выполнения training приемные части трансиверов сумели выделить частоту из принятого сигнала и обнаружили безошибочное прохождение тестовых посылок по каналу, трансивер переходит в режим передачи данных. В этом состоянии данные передаются без вмешательства управляющего процессора до момента разрыва соединения. При разрыве все шаги повторяются с момента инициализации.

Этот общий алгоритм работы может быть изменен за счет программных ухищрений. Наши фирменные решения позволяют модифицировать описанный сценарий установления соединения, и дают возможность обходиться без дополнительных настроек со стороны пользователей.

Если рассматривать трансивер PEF22622 в связке с управляющим микроконтроллером, то логическая модель такого устройства предельно проста.



Интерфейс SHDSL в таком виде представляет собой автономный узел, имеющий порт для подключения выделенной линии и последовательный порт РСМ для обмена данными с источниками информации. Также есть порт для настройки и получения статистики. Такой порт может быть выполнен в виде последовательного интерфейса с внешним управляющим процессором (например, SPI) или в виде порта RS232. В последнем случае настройка системы производится однократно при предпродажной подготовке и в процессе эксплуатации система передачи SHDSL работает абсолютно автономно. Настройки хранятся в энергонезависимой памяти микроконтроллера.

Использование отдельного микроконтроллера для обеспечения работы трансивера целесообразно ввиду следующих соображений.

- ПО для управления трансивером достаточно емкое (более 2000 строк на С) и его перемещение на хост чревато возможными сбоями из-за растущей сложности.
- Использование микроконтроллера позволяет унифицировать интерфейс с хостом, благодаря чему появляется возможность легкой модификации интерфейса без изменения остальной части проекта (например, в случае замены SHDSL на другую более совершенную технологию).
- Для функционирования трансивера необходимо перед началом работы загружать в него firmware – то есть программу для системы управления внутри трансивера. Это firmware надо где-то хранить. Хороший выход – это использовать современный микроконтроллер со встроенной FLASH-памятью. Мы применяем Atmel Atmega128.

### **Дальности - скорости**

Трансивер PEF22622, как и любые другие DSL трансиверы, предназначен для работы по витым медным парам имеющим волновое сопротивление 135 Ом. В случае, если волновое сопротивление отличается от этого значения, что естественно для разных типов кабеля, он перестраивает адаптивные системы в приемной части и работает без заметного изменения дальности передачи. Требования к линиям пригодным для работы трансивера

очень простые. Линия должна представлять собой витую пару, не должна иметь отводов, должна по возможности быть симметричной.

В таблице приведены дальности при работе по парам телефонного кабеля ТПП-05. Такой кабель проложен в городах от АТС до абонентов. Диаметр жил кабеля 0,5мм.

Скорость передачи данных, Кбит/с	Общая скорость передачи, Кбит/с	Предельная дальность, км	Дальность при BER=10 <sup>-7</sup> , км
2304	2312	6.3	4.7
2048	2056	6.6	5.1
1536	1544	7.1	5.5
1152	1160	7.5	6.1
768	776	8.2	6.5
384	392	8.7	7.9
192	200	9.3	8.1

Первая колонка таблицы содержит значения скорости передачи данных – то есть того полезного цифрового потока, в котором могут передаваться отсчеты от кодеков телефонных окончаний, от датчиков, данные RS485, трафик Ethernet.

Вторая колонка – это то количество бит в секунду, которое реально передается по линии. Значения в этой колонке немного больше значений скоростей для данных, поскольку в линию передается также вспомогательная информация, необходимая для работы трансивера.

Третья колонка – это измеренные на реальной линии предельные дальности, на которых все еще устанавливается соединение. При работе на таких дальностях с соответствующими скоростями на приеме возникают ошибки (где-то раз в секунду).

Последняя колонка – это скорость, измеренная трансиверами SOCRATES автоматически в результате выполнения процедуры PMMS. PMMS выбирает скорость, на которой гарантируется работа по данной линии с коэффициентом ошибок BER=10<sup>-8</sup>. Это означает, что на 100 000 000 переданных бит один передается с ошибкой.

[www.galios.ru](http://www.galios.ru)

[support@galios.ru](mailto:support@galios.ru)

(495) 789-58-04