

воляют сделать какого-либо однозначного вывода. С сугубо технической точки зрения более уместным было бы не Eurore или Euroean, а Eurocard (Евромеханика), поскольку стандарт VMEbus — это электрическая спецификация VERSAbus, сращенная с механическим конструктивом Евромеханика.

К 1980 г. компьютерные шины уже не были в диковинку, а многие из них даже успели состариться и перестали отвечать требованиям времени. Шины-ветераны были малоразрядными, медленными и поддерживали лишь по одному-двум типам процессоров. Разработчики VMEbus хотели создать такую интерфейсную технологию, которая была бы независимой от типа микропроцессора, допускала простое масштабирование канала данных с 16 до 32 бит и позволяла бы разным производителям создавать совместимые друг с другом продукты. Новая шина задумывалась как открытый бесплатный стандарт; это должно было способствовать росту популярности VME среди третьих фирм. Продукты с поддержкой VMEbus мог создавать кто угодно без каких-либо лицензионных выплат и иных отчислений.

Электрическую часть творцы шины VME позаимствовали у VERSAbus, присвоив к ней конструктив

Акиншин Леонид Геннадьевич — канд. техн. наук, обозреватель журнала "Мир компьютерной автоматизации".

Контактный телефон (095) 742-68-28. E-mail: leonidus_a@mail.ru

КАБЕЛИ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ СЕТЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ

Р.Г. Кузнецов (ООО "НПП Спецкабель")

Рассматриваются основные требования, предъявляемые к кабелям для промышленных систем управления с интерфейсом RS-485. Приводится эмпирическое выражение определения максимальной длины кабельной линии в зависимости от скорости передачи данных и параметров кабеля. Сделан вывод о том, что максимально возможная дальность безошибочной передачи сигналов данных тем больше, чем меньше затухание и емкость в линии.

В настоящее время разработчики современных цифровых промышленных сетей (ЦПС) зачастую сталкиваются с проблемой выбора той или иной линии передачи данных, которая бы полностью отвечала их требованиям не только по качеству передачи сигналов и надежности (в соответствии с условиями ее эксплуатации), но и экономичности. Указанные проблемы возникают из-за особенностей, присущих российскому рынку кабельной продукции. Во-первых, многие российские проектные институты в своих разработках для промышленных объектов используют кабели, которые применялись 10 и более лет назад, а отступать от принятых ранее "уставов" и переходить к более современным и совершенным типам не считают нужным по различным причинам (отсутствие информации, боязнь нового и т.п.). Во-вторых, последние годы по нашей стране широко "шагают" уже утвердившиеся в мировом масштабе стандарты организации ЦПС, как то *Profibus DP*, *Modbus*, *Hart*, *CanOpen* и др., физические уровни которых используют в большинстве своем рекомендованный стандарт интерфейса *RS-485*. Из опыта общения с разработчи-

Евромеханика. Последний к тому времени уже на протяжении нескольких лет широко использовался в Европе. Существовало большое число готовых механических аппаратных средств (корпусов, разъемов, субстоек), наличествовал богатый опыт по части их создания. Кроме того, используемые в Евромеханике штыревые коннекторы обеспечивали более высокую надежность соединения и были более устойчивыми к механическому износу, чем традиционные краевые соединители.

Спецификация VMEbus Revision A увидела свет в 1981 г. Поскольку новая технология была открытой, поставщики и пользователи могли не беспокоиться о том, что выбранная ими шина может выйти из употребления по прихоти какого-либо одного производителя.

В последующие два с лишним десятка лет технология VMEbus была принята на вооружение сотнями производителей и породила тысячи разнообразных продуктов. Сегодня она широко применяется в тех случаях, когда требуется повышенная надежность оборудования и длительные сроки доступности комплектующих. На протяжении всего времени существования шины VMEbus ее целевая аудитория остается практически неизменной: это оборонная, аэрокосмическая и промышленная электроника, а также системы РВ.

ками, а также из обзора публикаций по ЦПС очевидно, что проектировщики систем на основе RS-485 "завязаны" относительно среды передачи для этого интерфейса на такое изъезженное понятие, как "витая пара". Заблуждение здесь состоит в том, что стандартная "витая пара" 5-й категории для LAN сетей, телефонные кабели, кабели управления с ПВХ изоляцией и прочие хоть и имеют право на использование в системах с интерфейсом RS-485, но технически в принципе не могут полностью реализовать эффективность промышленной системы, а следовательно, и качество, надежность, защищенность и дальность передачи сигналов данных. В-третьих, порой имеют место проекты, в которых необходимо использовать линию передачи со специфическими характеристиками, что требует разработки совершенно нового кабеля по техническим требованиям, установленным самим проектировщиком. Однако решение подобных задач порой уникально и требует отдельного высококвалифицированного и оперативного подхода, что под силу очень немногочисленной группе специалистов в нашей стране. Четвертый момент — неред-

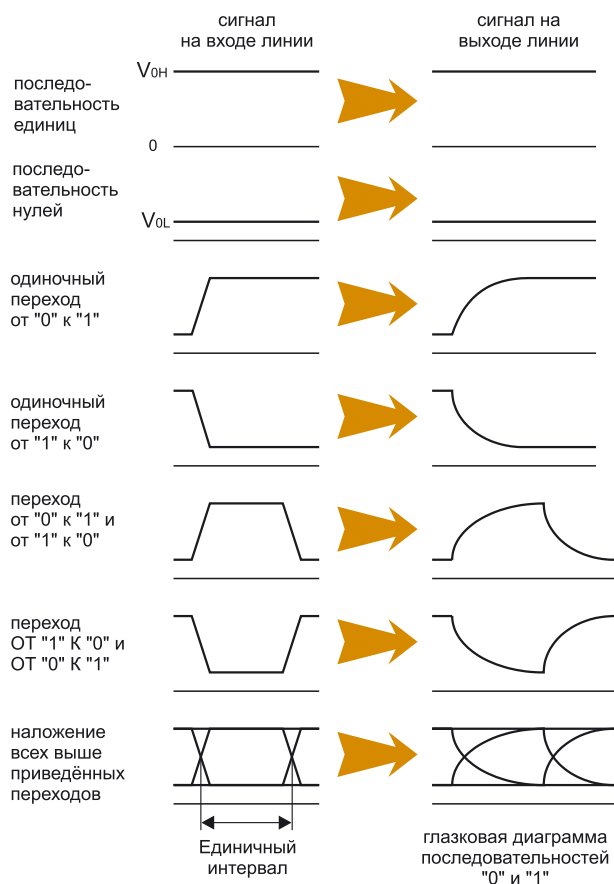


Рис. 1. Эффекты при распространении битовой последовательности по линии передачи

ко в связи с использованием в проектах устройств западного производства, в описаниях которых приводятся рекомендации по использованию того или иного типа или даже марки кабеля, как правило, западных же поставщиков (например, *Belden*, *LappKabel*, *Helukabel*, *Siemens*, *Kerpen*, *Nexans* и проч.), разработчики встают перед проблемой поиска таких же или аналогичных кабелей. Вот тут то можно воспользоваться помощью специалиста, способного предложить современные конструкции кабелей для ЦПС.

Так что же определенного может предложить на сегодняшний день российским потребителям отечественная кабельная отрасль для сетей промышленной автоматизации? Какие современные типы кабелей могут всецело удовлетворить требования все более распространяющихся по нашей стране международных стандартов ЦПС? Что выгодно отличает их от ранее созданных конструкций? Каковы их преимущества над западными аналогами?

Ответы на эти вопросы постараемся найти, рассмотрев разработанные и производимые НПП "Спецкабель" специальные серии интерфейсных кабелей для распространенных на сегодняшний день в России ЦПС, использующих интерфейс RS-485, ЦПС с физическим уровнем по стандарту МЭК 61158-2 для непрерывных во времени ТП, действующих во взрывоопасных зонах (*Profibus PA u Foundation Fieldbus*), и кабелей для постепенно влившейся в про-

мышленный сегмент технологии LonWorks (разработчик – компания Echelon Corporation), изначально использовавшейся для построения сетей управления в "интеллектуальных" зданиях.

RS-485

В качестве линии передачи данных для интерфейса RS-485 могут выступать совершенно различные среды: коаксиальный кабель, волоконная оптика, плоские и симметричные кабели, а также дорожки печатных плат. Однако наибольшее применение в RS-485 системах находят симметричные кабели на основе одной и более пар скрученных изолированных проводников, жаргонно называемых "витыми парами".

Для RS-485 используют самые разные виды симметричных кабелей: контрольные, LAN, телефонные, кабели управления с ПВХ изоляцией и др. Каждый такой тип кабелей может быть обоснованно применен в качестве шины для рассматриваемого интерфейса только по отдельным причинам (удовлетворительные электрические характеристики, невысокая стоимость, необходимый размер проводников, гибкость и т.д.).

Однако полным комплексом тех свойств, которые должны обеспечивать эффективность любой промышленной RS-485 системы, обладают лишь специально разработанные для нее кабели. Данный комплекс включает такие показатели, как малые коэффициент затухания и электрическая емкость между проводниками пары, обеспечивающие максимальное расстояние передачи сигналов данных; универсальность в отношении климатических условий эксплуатации; высокая гибкость конструкции; стойкость к электромагнитным помехам различной интенсивности; а также стойкость ко всякого рода механическим воздействиям. Серия кабелей для интерфейса RS-485, разработанная и производимая НПП "Спецкабель" по *TU16.K99-008-2001* и уже получившая массу положительных откликов от использовавших ее проектных организаций, обладает всем этим комплексом свойств и предоставляет российским разработчикам широкие возможности для проектирования своих систем. Рассмотрим на примере данной серии кабелей моменты, которые необходимо учитывать разработчику при выборе кабеля для ЦПС с интерфейсом RS-485.

Начнем с проблемы выбора максимальной длины линии передачи в сетях с интерфейсом RS-485, которая обеспечит безошибочную передачу сигналов данных от формирователя импульсов до их приемника в линии. Это, пожалуй, преобладающая интегральная характеристика линии передачи данных при оценке экономической эффективности выстраиваемой сети. Однако она носит далеко неоднозначный характер, поскольку суммарная длина кабельной сети в системе будет зависеть от множества факторов: электрических характеристик выходов передатчиков и входов приемников, суммарной нагрузки, электромагнитной обстановки, используемой оконечной согласующей нагрузки, характеристик самой среды передачи и т.д. Но поскольку в ста-

тье рассматривается исключительно среда передачи данных, то учитывать стоит только наипростейший вариант передачи данных в системе, состоящей из одного линейного передатчика, генерирующего псевдослучайную последовательность битов данных (нулей и единиц) с кодированием методом NRZ, среды передачи, согласующей оконечную нагрузку для минимизации нежелательных отражений сигнала и приемника. Фактически, это схема определения качества сигнала, которое может обеспечить используемая линия передачи при заданной длине и скорости передачи. Таким образом экспериментально определяется зависимость максимальной дальности передачи данных от скорости передачи. На этом основан метод "глазковой" диаграммы, когда в конце описанной схемы вместо приемника подключается, например, осциллограф, показывающий следы, оставляемые на экране приходившей последовательностью нулей и единиц (рис. 1).

Почему имеет место ограничение линии передачи данных по длине в зависимости от скорости передачи в случае распространения по линии сигналов вида ступенчатых функций или импульсов? Это обусловлено в основном двумя факторами: затуханием сигнала и его задержкой при распространении. Как известно, любой импульсный сигнал представляет собой суперпозицию его гармонических составляющих с частотами, кратными частоте основной гармоники. При этом наличие гармоник высшего порядка определяет фронт (скорость нарастания/спада) ступенчатого сигнала, низшего порядка — его амплитуду. Фазовые скорости распространения и коэффициент затухания каждой гармоники вдоль линии передачи отличаются друг от друга; гармоники высшего порядка будут распространяться значительно быстрее низших гармоник, но при этом и затухать по длине линии они будут также сильнее. Поэтому в конце линии сигнал будет "уширяться" в связи с увеличением времени нарастания/спада импульса, так как с увеличением длины линии это время будет все больше определяться "медленными", низкочастотными составляющими сигнала, что зависит от длины и электрических параметров линии. Неверным предположением может быть то, что эта зависимость является экспоненциальной, аналогичной той, которая имеет место при переходном процессе в схеме с генератором и активно-реактивной (полной) нагрузкой при замыкании ключа между ними. На самом деле здесь имеет место так называемая функция ошибок, которую достаточно трудно определить и однозначно увязать с затуханием и задержкой сигнала, а соответственно трудно определить параметры сигнала в конце линии и его различие с исходным сигналом на входе.

В данном случае оптимально использовать эмпирический подход определения максимальной длины

линии в зависимости от выбранной скорости передачи по имеющимся экспериментальным данным и хорошо коррелирующим с ними подобранным расчетным выражением, что будет приведено ниже.

Тем не менее, существуют общие критерии определения зависимости максимальной длины линии от установленной скорости передачи для RS-485 (рис. 2). На графике имеют место три ограничительные области. Ограничение по максимально возможной длине (область I на графике рис.2) обусловлено падением напряжения в проводниках кабеля на низких частотах, где затухание в кабеле зависит от резистивного сопротивления шлейфа пары. Падение уровня сигнала от передающей до приемной аппаратуры не должно превышать бдБ на постоянном токе, то есть уровень сигнала не должен снижаться более чем в два раза, чтобы не оказаться ниже порога принятия приемника. Это имеет место, когда сопротивление шлейфа пары постоянному току становится рав-

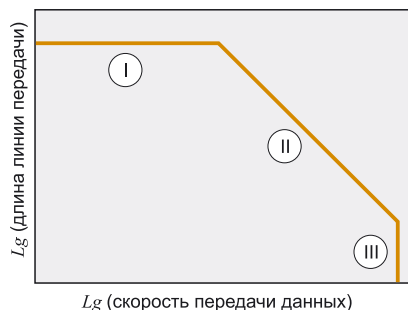


Рис. 2. Общий вид зависимости максимальной дальности передачи от скорости передачи в RS-485 системах

ным оконечной согласующей нагрузке в линии, то есть линия работает как делитель напряжения. Таким образом, чем больше диаметр проводника, тем меньше сопротивление шлейфа пары и следовательно больше длина линии. С другой стороны, чем меньше значение выбранной согласующей нагрузки, тем меньше должна быть длина шлейфа. Это относится к RS-485 системам, где по определенным причинам используется нагрузка, отличная от 100 Ом и где в связи с используемыми низкими частотами нет строгих ограничений по согласованию с оборудованием стандарта RS-485.

Ограничение по максимально возможной скорости передачи (область III на графике рис. 2) связано с возможностями самих передатчиков RS-485 по скоростям переключения, которые по стандарту должны обеспечивать скорость передачи не менее 10 Мбит/с. Максимальная длина линии, которая возможна при данной скорости, ограничена тем условием, что до этой длины линия рассматривается как сосредоточенная нагрузка, не оказывающая влияния на передаваемый сигнал. Большой этой длины кабель должен рассматриваться как линия передачи с распределенными параметрами, вносящая искажение (задержку) в передачу сигнала вследствие высокочастотных эффектов и первичных параметров линии (сопротивление проводников переменному току, емкость пары и т.д.). Этому условию соответствует выражение: $t_{pd} \geq t_{rf}/2$, где t_{rf} — время нарастания/спада сигнала между 10% и 90% его амплитуды в начале линии передачи (длительность фронта), с; t_{pd} — задержка на распространение сигнала вдоль линии передачи от выхода передатчика до входа приемника, с. Смысл данного выражения заключается в том, что кабель должен рассматриваться как линия передачи, если к моменту прихода первого импульса к концу линии сле-

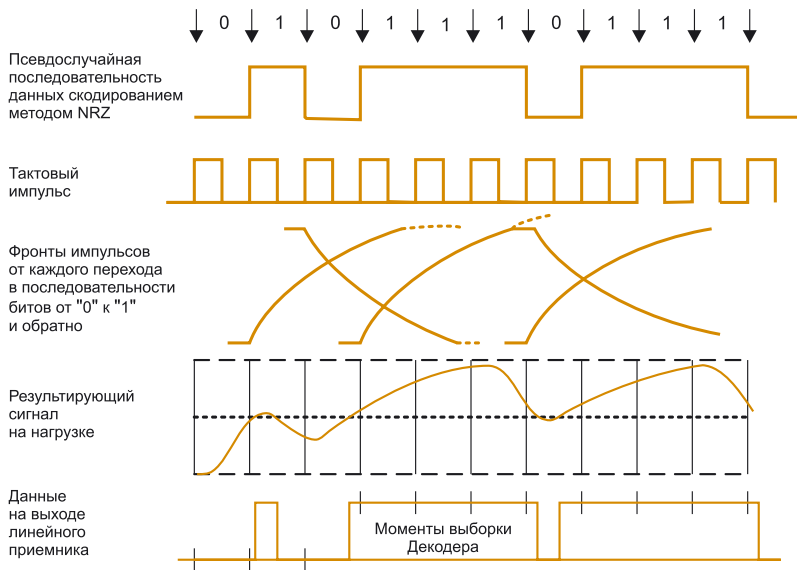


Рис. 3. Эффект искажения данных в виде случайной последовательности битов от распространения по линии передачи

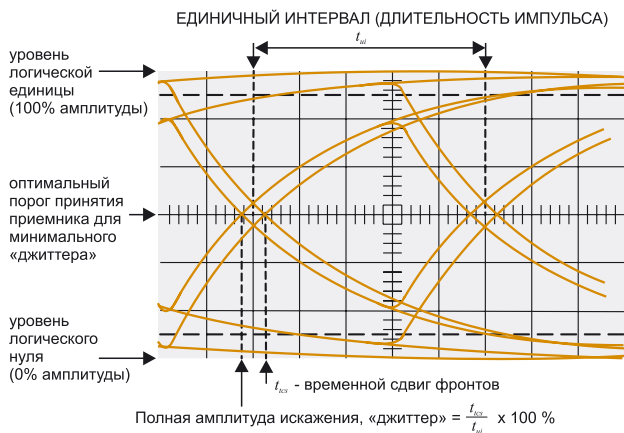


Рис. 4. Общий вид "глазковой" диаграммы

дующий импульс успевает сформироваться не менее чем на половину от своей максимальной амплитуды.

И, наконец, область II на графике рис. 2. Здесь следует учитывать высокочастотные эффекты, от которых зависят гармонические составляющие сигнала и которые приводят к расширению фронтов импульса по длине линии, что делает затруднительной задачу приемника корректно восстановить исходные данные. Это обусловлено тем, что сигнал будет пересекать порог принятия приемника, выше которого приемник устанавливает на своем выходе значение логической единицы, а ниже — логического нуля, с некоторым временным сдвигом относительно моментов формирования исходных фронтов импульса. Поэтому период времени, в течение которого на выходе приемника будет держаться, например логический нуль, может быть короче реальной длительности "нулевого" импульса на выходе передатчика. Это скажется на окончательном восстановлении данных, поскольку тактовый импульс декодера, с помощью которого оценивается состояние на выходе приемника, может просто "пропустить" период этого импульса, что наглядно иллюстрирует рис. 3.

Критерием оценки оптимального качества линии передачи в данной области может быть принято следующее выражение: $t_{df} \leq T_{min}/2$, где T_{min} — единичный интервал (равен длительности одного бита/импульса). Это критическое условие обеспечивает передачу данных без так называемой межсимвольной интерференции, когда происходит "наложение" фронтов двух следующих друг за другом импульсов, т.е. когда приход следующего импульса к приемному концу происходит до конца формирования предыдущего. Длительность формирования импульса при этом должна быть меньше задержки на распространение сигнала. Критерием окончания формирования импульса является установившееся значение сигнала, которое наступает через время, равное примерно двум интервалам нарастания/спада импульса.

При межсимвольной интерференции картина осциллографа будет выглядеть подобно той, что показана на рис. 4. В этом случае качество передаваемого по линии сигнала на заданной скорости передачи псевдослучайной последовательности битов данных должно определяться так называемым "джиттером" (дрожанием сигнала), равным $(t_{cs}/t_{ui}) \cdot 100\%$, где t_{ui} — длительность единичного интервала (одного бита в начале линии), t_{cs} — полный временной сдвиг относительно временных границ импульса.

В практических RS-485 системах допускают, как правило, 5% искажение сигнала. Это соответствует случаю, когда время нарастания/спада импульса в конце линии приблизительно равно длительности единичного интервала. "Идеальная" передача данных достигается при "джиттере" близком к 0%, а также в том случае, если длительность фронта импульса в конце линии не превышает половины единичного интервала. Иногда допускают 20% искажение сигнала, когда длительность фронта вдвое превышает единичный интервал (рис. 5).

К сожалению, однозначной функциональной связи между характеристиками кабеля (такими, как коэффициент затухания и задержка на распространение) и дальностью безошибочной передачи при заданной скорости нет. Однако в результате проведения подробного анализа экспериментальных характеристик (www.national.com; руководство TSB-89 — Application Guidelines for TIA/EIA-485-A) получена эмпирическая зависимость максимальной длины линии от скорости передачи:

$$L_{\max} = \sqrt{(L_{\max LC})^2 + (L_{\max \alpha})^2} = \sqrt{\left(\frac{n \cdot t_{ui}}{t_d}\right)^2 + \left(\frac{\alpha_{don}}{\alpha}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{n}{t_d \cdot CП}\right)^2 + \left(\frac{\alpha_{don}}{\alpha}\right)^2} \quad (1)$$

В выражении (1) L_{\max} — максимальная дальность передачи сигналов данных при принятом качестве

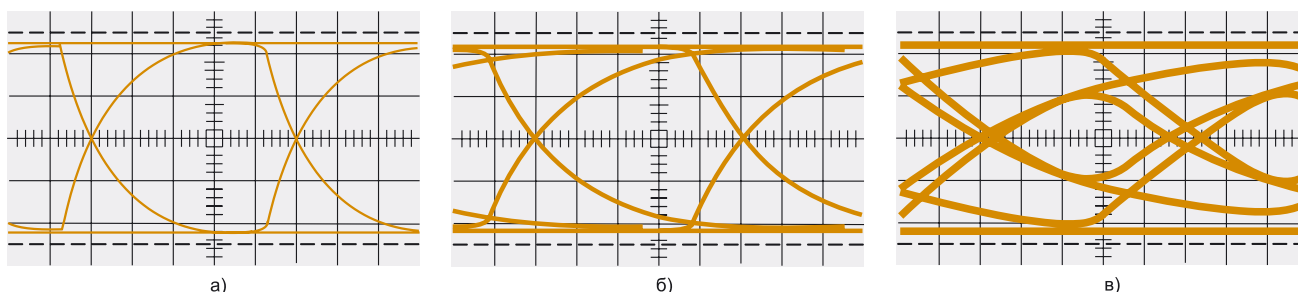


Рис. 5. Различная степень искажения случайной последовательности битов данных на выходе линии
 а) "джиттер" = 0%; б) "джиттер" = 5%; в) "джиттер" = 20%

сигнала на выходе линии, м, L_{\max} – максимальная дальность передачи, обусловленная допустимым снижением уровня сигнала; $L_{\max LC}$ – максимальная дальность передачи, обусловленная искажением сигнала за счет различия скоростей распространения гармонических составляющих импульса (или задержки на распространение), м; $\alpha_{\text{дон}}$ – допустимое затухание сигнала в линии между передающей и приемной аппаратурой на частоте, соответствующей выбранному значению "джиттера", дБ; α – коэффициент затухания в линии передачи на той же частоте, дБ/м; n – эмпирически подобранный коэффициент, зависящий от принятого качества сигнала; $t_{\text{и}}$ – время единичного интервала, обратное скорости передачи (СП) битов данных ($t_{\text{и}}=1/\text{СП}$), с; t_d – погонная задержка на распространение импульса вдоль линии, с/м.

Не вдаваясь глубоко в теорию передачи импульсных сигналов по цепям с распределенными параметрами и используя только экспериментальные результаты и характеристики передачи кабеля, прокомментируем полученное выражение.

Для этого рассмотрим процесс передачи случайной последовательности NRZ данных. Фактически сразу после начала формирования первого, например единичного импульса, на входе линии начинается его распространение по линии. Если после него тут же следует нулевой бит, которому соответствует резкий спад напряжения до нулевого уровня, то в линии будут происходить следующие явления. Низшие гармоники единичного импульса движутся с фазовыми скоростями меньшими, чем скорости высших гармоник, поэтому при определенной длине высшие гармоники нулевого бита их "догонят" и произойдет эффект сложения двух сигналов. Необходимо отметить, что время распространения сигналов по линии определяется скоростью распространения самых быстрых гармоник. В случае импульсных сигналов частоты гармоник высших порядков составляют многие мега- и гигагерцы. Из теории передачи сигналов по симметричным линиям известно, что на частотах 1...3 МГц и выше можно принять, что скорость распространения зависит только от реактивных параметров линии – электрической емкости и индуктивности:

$$v = \frac{1}{\sqrt{L_k \cdot C_k}}, \quad (2)$$

где v – фазовая скорость распространения высокочастотного (ВЧ) сигнала по линии, м/с; L_k и C_k – соот-

ветственно индуктивность (Гн/м) и емкость (Ф/м) линии передачи сигналов данных. Задержка на распространение есть величина обратная скорости распространения:

$$t_{pd} = t_d \cdot L = \sqrt{L_k C_k} \cdot L, \quad (3)$$

где L – длина линии передачи, м.

На более низких частотах следует учесть активное сопротивление проводников, что снижает фазовую скорость, то есть увеличивает задержку на распространение соответствующей частоты и обуславливает ее более медленное распространение вдоль линии.

Критическое условие, при котором наложения двух последующих сигналов не будет, выполняется, если время распространения фронта (высших гармоник) равно длительности импульса или удвоенному времени нарастания/спада сигнала: $t_{pd} = t_{\text{и}} = 2t_{\text{ф}}$. Удвоенное значение времени нарастания/спада соответствует условию окончательного формирования импульса и достижения им установившегося значения, что равносильно приходу в данный момент и в данную точку всех гармоник, составляющих сигнал, включая самую низшую. Это также критическое условие сохранения длительности единичного интервала сигнала, то есть в рассматриваемой последовательности единиц и нулей период между пересечением нарастающего фронта единичного импульса и спадающего фронта нулевого импульса равен единичному интервалу.

Отметим, что рассматриваемые нулевой и единичный импульсы имеют одинаковые, но противоположные фронты. Поэтому при наложении двух сигналов, распространяющийся единичный импульс не сможет достичь своего конечного значения и начнет преждевременное затухание, когда высокочастотные составляющие следующего за ним нулевого импульса "догонят" его низкочастотные составляющие. В этом случае спад импульса начнется до момента достижения им установившегося значения, и сигнал пересечет порог принятия приемника с определенным временным сдвигом до границы единичного интервала. Что же касается длинных последовательностей единиц (или нулей), при которых сигнал успевает достичь установившегося значения, то в случае, если за последней единицей появится логический нуль (спад сигнала), фронт нулевого импульса за счет уширения его времени спада по длине линии пересечет порог принятия приемника также с некоторым временным сдвигом, но за

границей единичного интервала. Таким образом, рассматриваемая случайная последовательность битов будет иметь искажение, определяемое интервалом, между описанными выше пересечениями порога принятия. Отношение этого интервала к длительности единичного интервала даст относительное значение искажения при передаче данных, называемое "джиттером", которое определяется экспериментально методом "глазковой" диаграммы на отдельных различных дискретных длинах испытываемых кабелей. Из результатов таких измерений (www.national.com) следует, что искажение сигнала величиной 5% соответствует соотношению $t_{pd} = 2t_{ui}$ или $t_{ui} = t_{rf}$. То есть, когда на входе приемника сигнал достигает уровня 90% от установившегося значения, на вход приемника приходит следующий сигнал и происходит эффект описанный выше. Когда "джиттер" достигает значения 20%, то задержка на распространение становится примерно в четыре раза больше единичного интервала $t_{pd} = 4t_{ui}$ или $t_{rf} = 2t_{ui}$, то есть приход следующего сигнала происходит уже через время, равное половине времени нарастания/спада предыдущего сигнала.

В итоге, после всего выше изложенного относительно зависимости искажения фронтов от времени задержки на распространение, можно записать следующее выражение:

$$L_{\text{максLC}} = \frac{n \cdot t_{ui}}{t_d} = \frac{n}{t_d \cdot CП}, \quad (4)$$

где $n = 1$ при искажении 0% (нет сдвига фронтов), $n = 2$ при относительном сдвиге фронтов 5% и $n = 4$ при относительном сдвиге фронтов 20%.

До сих пор принимались равенства в соотношениях времени задержки на распространение, длительностей фронта и единичного интервала. Можно предположить, что это справедливо, когда фронты в рассматриваемых случаях описываются экспоненциальной функцией, так как ранее не учитывалось снижение уровня за счет затухания составляющих его гармоник, и момент наложения фронтов зависел только от совпадения низших и высших гармоник, следующих друг за другом импульсов. Если теперь принять во внимание, что на распространение гармоник сказывается не только их задержка, но и затухание по длине линии, то уровень сигнала будет снижаться. Следовательно, время нарастания/спада сигнала все больше будет определяться низкочастотными составляющими и пересечение следующих друг за другом фронтов будет происходить несколько раньше границы единичного интервала, то есть с некоторым допуском по дальности передачи. Поэтому в формулу определения максимальной длины линии можно ввести дополнительный член, учитывающий изменение формы фронта за счет затухания сигнала в линии:

$$L_{\text{макс } \alpha} = \frac{\alpha_{\text{дон}}}{\alpha}. \quad (5)$$

Эмпирически установлено, что $\alpha_{\text{дон}}$ определяет допустимое затухание на частоте гармоники, соответствующей выбранному допустимому искажению ("джиттеру") в линии. Для того, чтобы все основные высшие гармоники достигли конечной точки с уровнями, достаточными для участия в формировании конечного сигнала, существует распространенное эмпирическое правило, при котором между передающим и приемным концом линии затухание сигнала на частоте, равной удвоенному значению частоты основной гармоники $2f_0$, не должно превышать 6 дБ. Это соответствует случаю 5% "джиттера", являющегося широко используемым допуском на качество передачи сигнала в системах. Однако, проанализировав экспериментальные зависимости, приходим к выводу, что для определения максимальной дальности передачи лучше использовать несколько иной подход. Оказывается, что хорошая корреляция между измеренными и расчетными точками получается при расчете по формуле (5). В этой формуле $\alpha_{\text{дон}} = 6$ дБ при f_0 в случае 20% сдвига; $\alpha_{\text{дон}} = 3$ дБ при $2f_0$ в случае 5% сдвига и $\alpha_{\text{дон}} = 1,5$ дБ при $4f_0$ в случае отсутствия сдвига фронтов.

Несмотря на то, что все изложенные выше рассуждения являются именно эмпирическими, полагаем, что для практического применения они вполне обоснованы. При этом главный и вполне ожидаемый вывод, который можно сделать из всего изложенного выше и той формулы (5), которая рекомендуется к практическому применению, заключается в том, что минимальные искажения сигнала, расширение его фронтов, а следовательно "джиттер" при максимальной дальности передачи данных обеспечиваются в случае минимальных коэффициентов затухания и электрической емкости линии. Кроме того, очевидно, чем больше допустимый "джиттер", тем больше возможная дальность безошибочной передачи данных. Так, например, максимально допустимые длины при искажениях 0%, 5% и 20% соотносятся приблизительно как 1:2:4.

Следует отметить, что приведенные размышления относительно критериев выбора длины кабеля в зависимости от скорости передачи данных по нему являются строго ориентировочными, и конечное решение будет зависеть от прочих факторов, которыми владеют разработчики. Это учет кабельных ответвлений к нагрузкам (приемникам), числа самих нагрузок, внешних воздействующих факторов, искажений за счет погрешности оборудования (например, сдвига порога принятия приемника), учет влияния емкостей входов приемников, электромагнитная обстановка и прочее.

В следующей публикации рассмотрим кабели, которые могут использоваться в качестве среды передачи для сетей с интерфейсом RS-485, а также ряда других распространенных промышленных сетей, на примере современных серий кабелей, разработанных специально для этого и прочих интерфейсов НПП "Спецкабель".

Роман Геннадьевич Кузнецов — инженер НПП "Спецкабель".

Контактные телефоны: (095) 269-71-13, 268-08-55, доб. 222; факс (095) 268-08-55.

E-mail: prof1@spcable.ru web-caйт: www.spcable.ru