ЗЕЛАКС

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ:

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ

2001

www.zelax.ru

Коллектив авторов:

Сухман Сергей Маратович
Бернов Аркадий Валентинович
Шевкопляс Борис Владимирович

Редакция от 21.03.2001

© Зелакс 2001

Содержание

Предисловие **4**

1. Взаимодействие устройств типа DTE/DCE **5**

1.1. В чем проблема? 5
1.2. Что такое “устройство типа DTE (DCE)”? 5
1.3. Логический и физический уровни представления сигналов 8
1.4. Горячая десятка сигналов RS-232 8
1.4.1. Недооценили сигнал RI ? 9
1.4.2. Пятерка лидеров: TxD, CLK, TxC; RxD, RxC 10
1.4.2.1. Асинхронный режим 10
1.4.2.2. Синхронный режим 11
1.4.2.2.1. Попутно или навстречу? 12
1.4.2.2.2. Иногда полезно проинвертировать синхросигнал 13
1.4.3. Третий – лишний: DTR – DSR или DTR – DCD? 14
1.4.4. Трудная судьба сигналов RTS и CTS 15
1.5. Программное управление потоком данных 16
1.6. Трехпроводный вариант RS-232 17
1.7. Электрические уровни сигналов RS-232 17
1.8. Взаимодействие одноименных устройств (DTE – DTE или DCE – DCE) в асинхронном режиме 18
1.8.1. Нуль-модемные кабели 18
1.8.2. Пример сопряжения двух устройств типа DCE 20

2. Примеры схем взаимодействия устройств типа DTE и DCE в синхронном режиме **21**

2.1. Вводные замечания 21
2.2. Системы с внутренней синхронизацией 22
2.3. Системы с внешней синхронизацией 23
2.4. Используем модем как устройство типа DTE ! 25
2.5. Система с двумя последовательно включенными каналами связи 25

Многие вещи нам непонятны не потому,
что наши понятия слабы; но потому, что
сии вещи не входят в круг наших понятий.

К. Прутков

Предисловие

Этот сборник – своего рода расширение набора руководств пользователя, разработанных для наших изделий. По замыслу он должен в какой-то мере восполнить содержательные пробелы, которые вольно или невольно образуются при написании официальной сопроводительной документации. Действительно, в ограниченном объеме стандартного руководства пользователя трудно, а порой и неуместно размещать сведения, на которые можно просто сослаться или которые считаются общеизвестными.

Однако стандарты, на которые даются ссылки, часто трудно отыскать, да многие из них и не дают однозначных ответов на конкретные вопросы. Что касается некоторых “общеизвестных” истин, то и они при ближайшем рассмотрении теряют законченные очертания: их трактовка различными литературными источниками может не совпадать. Поэтому нам зачастую придется пояснять *что* мы имели в виду, употребляя тот или иной “общеизвестный” термин.

Мы решили не ждать пока материалы сборника составят некую законченную структуру с разбивкой по главам и т. п.; объем сборника будет расти по мере обработки имеющейся и притока новой информации с появлением новых устройств ф. Зелакс. Надеемся, что Вы пожелаете поделиться опытом и полезными техническими решениями (своими или найденными среди публикаций) – страницы этого сборника к Вашим услугам; авторские права, разумеется, будут соблюдены. Ждем также Ваших замечаний и предложений.

1. Взаимодействие устройств типа DTE/DCE

Попробуем еще раз разобраться с общеизвестными истинами.

1.1. В чем проблема? 5
1.2. Что такое “устройство типа DTE (DCE)”? 5
1.3. Логический и физический уровни представления сигналов 8
1.4. Горячая десятка сигналов RS-232 8
1.4.1. Недооценили сигнал RI ? 9
1.4.2. Пятерка лидеров: TxD, CLK, TxC; RxD, RxC 10
1.4.2.1. Асинхронный режим 10
1.4.2.2. Синхронный режим 11
1.4.2.2.1. Попутно или навстречу? 12
1.4.2.2.2. Иногда полезно проинвертировать синхросигнал 13
1.4.3. Третий – лишний: DTR – DSR или DTR – DCD? 14
1.4.4. Трудная судьба сигналов RTS и CTS 15
1.5. Программное управление потоком данных 16
1.6. Трехпроводный вариант RS-232 17
1.7. Электрические уровни сигналов RS-232 17
1.8. Взаимодействие одноименных устройств (DTE – DTE или DCE – DCE) в асинхронном режиме 18
1.8.1. Нуль-модемные кабели 18
1.8.2. Пример сопряжения двух устройств типа DCE 20

1.1. В чем проблема?

При описании элементов систем передачи данных широко используются термины DTE и DCE. Их трактовка приводится едва ли не в каждом учебном пособии по таким системам. Однако общение с потребителями нашей продукции показывает, что зачастую многие из них не придают значения отличиям одного термина от другого; а без понимания сути этих отличий трудно воспринимать сведения, приведенные в руководствах пользователя. Кроме того, есть кое-какие особенности использования сигналов взаимодействия между устройствами, и чтобы отыскать их описание в литературе, потребовалось бы немало терпения и времени. Все это привело нас к мысли о том, что неплохо бы дать некоторые разъяснения пользователям нашей аппаратуры и, надеемся, не только им.

1.2. Что такое “устройство типа DTE (DCE)”?

Вопрос и простой, и не очень. В чем сложность – сейчас увидим. В примере системы передачи данных (Рис. 1.1) компьютеры обмениваются информацией по каналу связи через модемы. Компьютеры обозначены термином DTE, а модемы – DCE. Начнем с определений.

DTE – Data Terminal Equipment – оконечное оборудование данных (ООД);

DCE – Data Communication Equipment – аппаратура передачи данных (АПД).

Рис. 1.1. Пример системы передачи данных

Как видно из Рис. 1.1, все на своих местах. Действительно, нельзя отрицать, что каждый из компьютеров является “оконечным” (подключенным к концу тракта передачи данных) и является “оборудованием” для обработки данных. Однако в этих рассуждениях (а скорее – оправданиях) уже ощущается некоторая натяжка. В самом деле, компьютер 2, по-видимому, не будет “оконечным”, если к нему подключить еще один модем для продолжения канала связи, как показано на Рис. 1.2

Рис. 1.2. Расширенная система. Неясно, как теперь правильно назвать компьютер 2: устройством DTE или DCE ?

Значит ли это, что компьютер 2 “превратился” из устройства DTE в устройство DCE ? – Нет, он, как мы предположили, каким был, таким и остался, к нему лишь подключили дополнительный модем. Еще один неприятный факт, не укладывающийся в “теорию”: многие большие компьютеры изначально выполнены как устройства DCE, а не DTE. Применив такие компьютеры в схеме на Рис. 1.1, мы получим цепочку из устройств типа DCE, Рис. 1.3.

Рис. 1.3. Система, использующая компьютеры, выполненные в виде устройств DCE. Неясно, где здесь “оконечное оборудование данных” ?

Во всех приведенных примерах модемы выступали в качестве устройств типа DCE. Противоречий нет, так как модем в полной мере представляет собой аппаратуру передачи данных. Однако некоторые современные модемы, например Зелакс М-144, могут быть перестроены на работу в качестве устройств типа DTE, хотя “терминальных” функций они явно не выполняют. Границы применимости термина DCE также сильно размыты; возможно поэтому рекомендация V.24(03/93) дает более “осторожную” (но не более четкую) трактовку термина DCE: Data Circuit-Terminating Equipment – аппаратура окончания канала данных (АКД, синоним АПД).

Чтобы окончательно не запутаться в терминологии, введем свои, с позволения сказать, определения, которые, на наш взгляд, хорошо запоминаются и работают безотказно. Но сначала обратимся к Рис. 1.4, на котором представлена схема подключения компьютера (DTE) к линии (каналу связи) через модем М-144 (DCE).

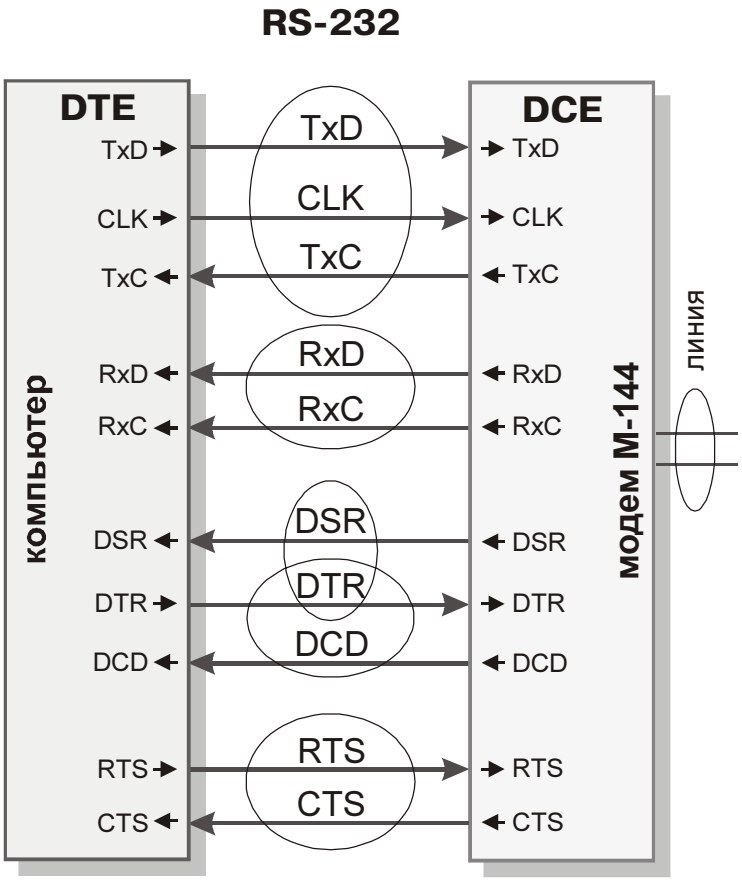

Рис. 1.4. Схема соединения устройств типа DTE и DCE

Показаны все сигналы порта 1 модема, хотя некоторые из них могут не использоваться. Здесь и далее предполагаем, что этот порт настроен на работу с интерфейсом RS-232. Общая цепь сигнальной земли не показана, родственные группы сигналов выделены овалами. Итак, мы считаем, что

DTE – устройство, у которого сигнал передаваемых данных TxD является *выходным* (по ассоциации с фразой “**D**анные – **TE**бе”); ☺

DCE – устройство, у которого сигнал передаваемых данных TxD является *входным* (по ассоциации с фразой “**D**анные – **CE**бе). ☺

Как видно из Рис. 1.4, можно дать до 10 подобных пар определений по числу задействованных сигналов; каждый сигнал – выходной для одного устройства и входной для другого. Может быть, кому-то покажется удобной для запоминания такая пара определений:

DTE – устройство, которое *принимает* сигнал DCD;
DCE – устройство, которое *выдает* сигнал DCD.

Здесь рассуждаем так. Если устройство следит за состоянием линии и способно формировать сигнал обнаружения несущей (DCD – Data Carrier Detect), то оно явно “коммуникационное” (DCE); устройство, которое поглощает этот сигнал, не иначе как “терминальное” (DTE). Отметим, что в рекомендации V.24(03/93) сигнал DCD трактуется уже несколько иначе по сравнению с приведенной традиционной расшифровкой, хотя смысл остался практически тем же – Data channel received line signal detector (детектор принимаемого линейного сигнала канала данных).

Таким образом, мы убедились в том, что термины DTE и DCE имеют слабое отношение к функциональному назначению обозначаемых ими устройств. Эти термины всего лишь определяют направления передачи сигналов. (Поэтому чтобы не вводить в заблуждение неискушенных пользователей аппаратуры, следовало бы вместо этих терминов ввести абстрактные обозначения, не имеющие расшифровки, например X и Y. Но традиции слишком устойчивы.) Если согласиться с таким подходом к терминологии, то схемы, показанные на Рис. 1.2 и Рис. 1.3, не будут выглядеть “странными”; таковыми, скорее, покажутся вопросы, поставленные в комментариях под этими рисунками в тщетных поисках здравого смысла.

1.3. Логический и физический уровни представления сигналов

При описании взаимодействия устройств типа DTE и DCE мы остановились на интерфейсе RS-232 как наиболее простом и распространенном. Этот интерфейс был разработан в 1969г. и с тех пор не раз модифицировался и “ветвился”. Однако показанные на Рис. 1.4 сигналы, передаваемые между устройствами DTE и DCE, можно найти в любой его версии, если иметь в виду логическое представление сигналов (“есть – нет”).

Иногда ошибочно считается, что интерфейс RS-232 работает только в асинхронном режиме. Эта типичная ошибка основана на широко распространенной реализации минимального подмножества сигналов интерфейса RS-232 в персональных компьютерах. Не следует ассоциировать термин “RS-232” с термином “асинхронный режим” работы порта, так как полный вариант интерфейса может работать как в асинхронном, так и в синхронном режиме. Последний характеризуется расширенным набором участвующих в обмене цепей, точнее, дополнительным использованием трех цепей синхронизации: CLK, TxC и RxC, см. Рис. 1.4 (подробности – чуть позже).

На физическом уровне сигналы передаются разными уровнями напряжения. Например стандарты RS-232C, D предусматривают уровни передачи сигнала от ±5В (min) до ±15В (max) относительно общей сигнальной земли; в стандарте RS-422A сигналы передаются в дифференциальном виде ±2В (min), в стандарте RS-485 – уровнями напряжения ±1,5В (min) и т. д.

К последним модификациям интерфейсов “семейства RS-232” можно отнести следующие:

ANSI/TIA/EIA-232-F-1999	ANSI/TIA/EIA-574-90(R98)
ANSI/TIA/EIA-723-98	ANSI/TIA/EIA-404-B-96

С подробностями можно ознакомиться на сайте http://www.tiaonline.org (TIA – The Telecommunication Industry Association – ассоциация производителей телекоммуникационного оборудования).

1.4. Горячая десятка сигналов RS-232

Вновь рассматриваем пару “компьютер - модем”. Полный интерфейс RS-232 предусматривает использование 25-контактного соединителя, в котором каждый контакт соответствует определенной цепи, включая цепи защитного и сигнального заземления. Однако на практике обычно используются далеко не все цепи.

Например лишними часто оказываются цепи* 118 – 122 обслуживания дополнительного канала связи, цепи 111, 112, 116 управления скоростью передачи, и другие.

Конечно, если нечего обслуживать или нечем управлять, то и соответствующие цепи не нужны. Но что интересно: даже если есть дополнительный канал связи, и скорость передачи должна регулироваться, то и тогда чаще всего перечисленные цепи не используются!

Дело в том, что современные “интеллектуальные” модемы могут получать по цепи TxD не только данные, но и команды, флаги и иные признаки, предусмотренные программным протоколом и характеризующие параметры обмена. Так что для передачи служебной информации из компьютера в модем и обратно не обязательно и даже нежелательно использовать “второстепенные” цепи интерфейса RS-232, из которых часть мы здесь упомянули. Но есть и такие цепи, без которых трудно обойтись; их рассмотрим после небольшого замечания относительно сигнала RI.

1.4.1. Недооценили сигнал RI ?

Нет, он по праву не вошел в десятку лидеров, так как “горе от ума” коснулось и его. Напомним, что сигнал RI (Ring Indicator, цепь 125 – индикатор вызова) логически повторяет сигнал вызова абонента со стороны АТС. Точнее, сигнал RI активен (его уровень напряжения составляет +12В), когда на “нашу” абонентскую линию из АТС подается относительно высокое переменное напряжение (“телефон звонит”); когда переменное напряжение снимается (“звонок умолкает”), то сигнал RI возвращается в пассивное состояние (-12В).

Чтобы понять почему столь “важный” сигнал стал ненужным, рассмотрим цепочку: АТС – абонентская линия – модем – компьютер (рисунок не приводим). Предположим, что в исходном состоянии абонентская линия свободна (“трубка повешена”). Если модем не обладает высоким “интеллектом”, то он при вызове со стороны АТС просто формирует и передает в компьютер сигналы RI. Компьютер реагирует на них например так: по окончании шестого сигнала передает в модем команду “снять трубку”; после некоторой паузы проверяет наличие сигналов DCD, DSR, CTS и приступает к обмену служебными, а затем и “полезными” данными.

Если модем “интеллектуален”, то он и сам может отсчитать заданное число вызывных сигналов, затем “снять трубку” и выполнить все операции по установлению связи, идентификации инициатора обмена, приему и буферизации полученных от него данных и т. п.; при этом компьютер подключается к работе только когда это действительно “крайне необходимо”. Как видим, в этой ситуации цепь передачи сигнала RI из модема в компьютер действительно не нужна.

Впрочем, вернемся к десятке наиболее “употребимых” сигналов, см. Рис. 1.4. При их описании номера цепей и расшифровка терминов даны в соответствии с рекомендацией V.24(03/93). (Как уже отмечалось при упоминании сигнала DCD, эта расшифровка не всегда совпадает с привычной.) Направление передачи сигналов видно из рисунка.

---

* Имеются в виду цепи “серии 100”, описанные в рекомендации V. 24 ITU-T (ITU-T – International Telecommunication Union, Telecommunication standardization sector – международный телекоммуникационный союз, сектор стандартизации телекоммуникаций). Большинство цепей имеют сокращенные названия (например TxD), введенные ассоциацией электронной промышленности Electronic Industries Association (EIA). Названия и их расшифровка в ряде случаев со временем изменяются, например вместо TxD ныне в интерфейсе RS-232F использовано сокращение TD. Но не будем судить об этой ситуации слишком строго.

1.4.2. Пятерка лидеров: TxD, CLK, TxC; RxD, RxC

Эти сигналы примечательны тем, что их функциональное назначение не вызывает неоднозначной трактовки. С них и начнем.

TxD (цепь 103) – Transmitted Data – данные, передаваемые из устройства DTE в устройство DCE в асинхронном или синхронном режиме.

В синхронном режиме границы и середины битовых интервалов соответствуют положительным и отрицательным фронтам синхросигнала, передаваемого по отдельной цепи. Этот режим преимущественно используется в высокопроизводительных системах передачи данных.

Асинхронный режим используется очень широко, так как его аппаратная реализация более проста – на рынке имеется ряд дешевых микросхем универсальных асинхронных приемопередатчиков (UART). Но за эту простоту приходится платить снижением эффективности использования цепей передачи данных, как будет показано далее.

1.4.2.1. Асинхронный режим

Напомним, что для конкретности мы остановились на интерфейсе RS-232, хотя логические соотношения между сигналами такие же, как и в иных интерфейсах семейства RS (RS-422, RS-485 и др.).

В асинхронном режиме (Рис. 1.5) передаваемые данные представлены потоком символов, каждый из которых снабжен служебными битами Старт и Стоп.

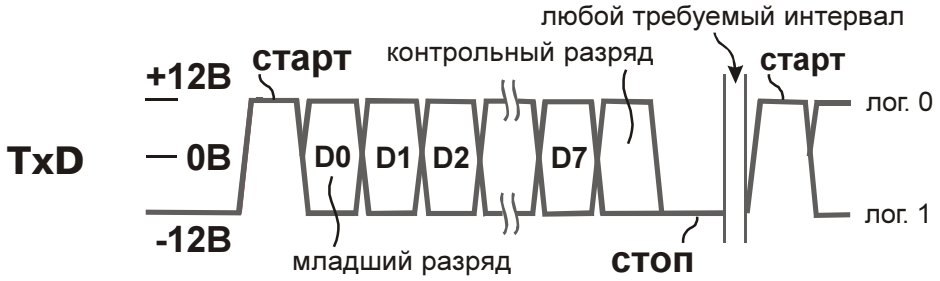

Рис. 1.5. Временная диаграмма передачи данных в асинхронном режиме (здесь и далее – для интерфейса RS-232)

Число стоп-битов при настройке устройств обычно выбирают равным 1 или 2, реже 1,5 (имеется в виду интервал времени, в полтора раза превышающий длительность битового интервала). Число битов (5...8) в символе, наличие или отсутствие контрольного разряда (дополняющего число единичных битов символа до четного или нечетного) и скорость передачи также задаются при начальной настройке. В модеме М-144 скорость передачи V составляет 50...230400 бит/с. (В настоящее время в некоторых устройствах используется скорость 460800 бит/с и выше.)

Следует заметить, что количество стоп-битов задается только для асинхронного передатчика; при этом асинхронный приемник по истечении одного стоп-бита включает режим ожидания очередного старт-бита.

Приемник синхронизируется положительным фронтом (переходом напряжения от -12В к +12В) сигнала Старт и, зная длительность битового интервала T = 1/V и формат посылки, последовательно считывает передаваемые биты. Асинхронность состоит в том, что приемник не знает, в какой момент поступит очередной символ. Иными словами, отсутствует единая для всего потока данных синхронизация, т. е. она имеет “локальный” характер – устанавливается заново всякий раз при обнаружении приемником начала очередного старт-бита.

1.4.2.2. Синхронный режим

Синхронный режим позволяет более эффективно использовать цепи передачи данных за счет исключения старт- и стоп-битов. Поясним это на примере.

Предположим, что при передаче данных в асинхронном режиме символ содержит 8 бит (байт), контроль по четности или нечетности отсутствует, стоп-бит один. Тогда, с учетом стартового бита, для передачи каждого байта нужно 10 битовых интервалов (соответствующих передаче старт-бита, восьми битов данных и стоп-бита). При скорости передачи 115200 бит/с и отсутствии пауз между стоп- и старт-битами скорость передачи байтов равна 115200 / 10 = 11520 байт/с или 11520x8 = 92160 бит/с. Таким образом, фактическая скорость передачи данных составляет 0,8 от “объявленной”.

В синхронном режиме эти скорости одинаковы, так как передаются только “полезные” биты; их истинность подтверждается синхросигналами в соответствующих цепях интерфейса. Возможны два варианта взаимодействия устройств.

Вариант 1. Направления передачи синхросигналов CLK и передаваемых данных TxD совпадают, т. е. источник данных и синхросигналов один и тот же (Рис. 1.6).

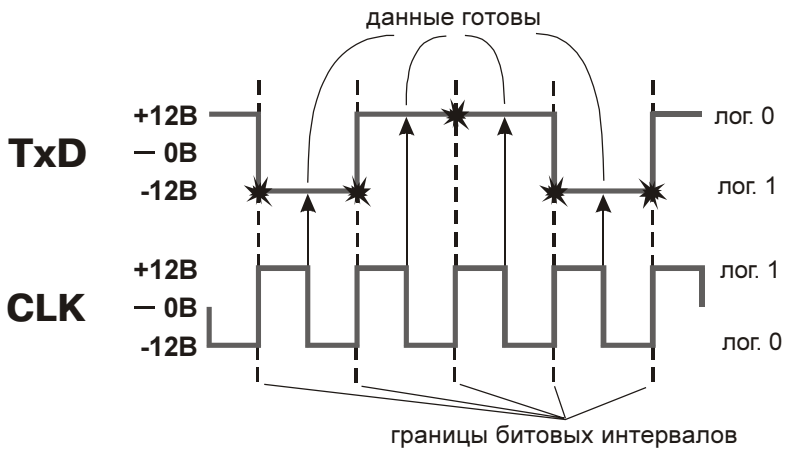

Рис. 1.6. Временная диаграмма передачи данных TxD в синхронном режиме, первый вариант

CLK (цепь 113) – Transmitter signal element timing (DTE) – сигнал синхронизации передаваемых данных, формируемый устройством DTE. Истинность бита данных подтверждается отрицательным фронтом (перепадом напряжения от +12 В до - 12 В) сигнала CLK, как показано на рисунке. По положительному фронту этого сигнала в линию TxD поступает следующий бит.

Вариант 2. Направления передачи синхросигналов TxC и передаваемых данных TxD противоположны, т. е. источник данных размещен в одном устройстве, а источник синхросигналов – в другом (Рис. 1.7).

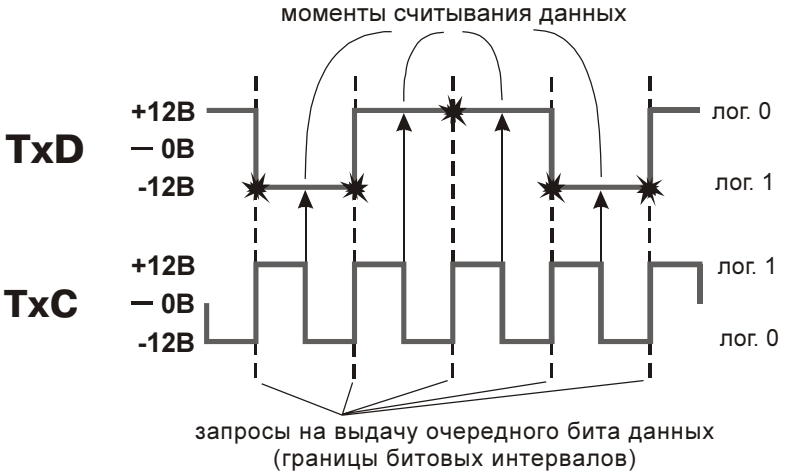

Рис. 1.7. Временная диаграмма передачи данных TxD в синхронном режиме, второй вариант

TxC (цепь 114) – Transmitter signal element timing (DCE) – сигнал синхронизации передаваемых данных TxD , формируемый устройством DCE. Получив положительный фронт этого сигнала, передатчик выдает очередной бит; затем по отрицательному фронту сигнала приемник фиксирует новый бит и т. д. Сигналы CLK или TxC передаются непрерывно на протяжении всего сеанса связи между устройствами. Скважность этих сигналов обычно равна двум.

1.4.2.2.1. Попутно или навстречу?

Какая синхронизация лучше: “попутная” (CLK – TxD) или “встречная” (TxC – TxD)? Если рассуждать “теоретически”, то предпочтительна первая, и вот почему. В первом варианте передачи данных задержки распространения сигналов TxD и CLK в кабеле между устройствами DTE и DCE в значительной мере взаимно компенсируются благодаря примерно одинаковым условиям следования этих сигналов “параллельными курсами”.

Второй вариант основан на не совсем оправданной “вере” в то, что запрос на выдачу очередного бита данных будет мгновенно удовлетворен, и отрицательный фронт сигнала TxC попадет в середину битового интервала (см. Рис. 1.7). Однако отклонение составляет как минимум две задержки распространения сигналов по кабелю и четыре задержки интерфейсных схем на пути прохождения запроса (TxC) и ответа (TxD). Действительно, ведь по-хорошему нужно было бы передать запрос, дождаться поступления бита данных, и только после этого начинать отсчет интервала времени для указания момента последующего приема этого бита. Конечно, отмеченные различия между вариантами несущественны при низких скоростях передачи данных.

И все же на практике чаще всего применяется “встречная” синхронизация. Это связано с тем, что во всех отношениях удобно провести границу между системой транспортирования данных и прочими устройствами. А если это так, то система транспортирования должна быть функционально законченной и, в частности, иметь собственный генератор синхросигналов. Таким образом, принимаемые в систему транспортирования данные неизбежно окажутся объектом “встречной” синхронизации.

1.4.2.2.2. Иногда полезно проинвертировать синхросигнал

Реальность часто вносит коррективы даже в простые решения, которые мы сейчас рассматриваем. В силу разных причин, начиная от влияния паразитных емкостей и заканчивая элементарными ошибками при монтаже устройства (когда в “труднодоступном” для нас месте перепутаны контакты, на которые выведен парафазный синхросигнал), реальная временная диаграмма может сильно отличаться от “теоретической”. Причем настолько, что имеет смысл проинвертировать синхросигнал, чтобы получить более точное попадание его отрицательного фронта на период стабильности бита данных, как показано на Рис. 1.8.

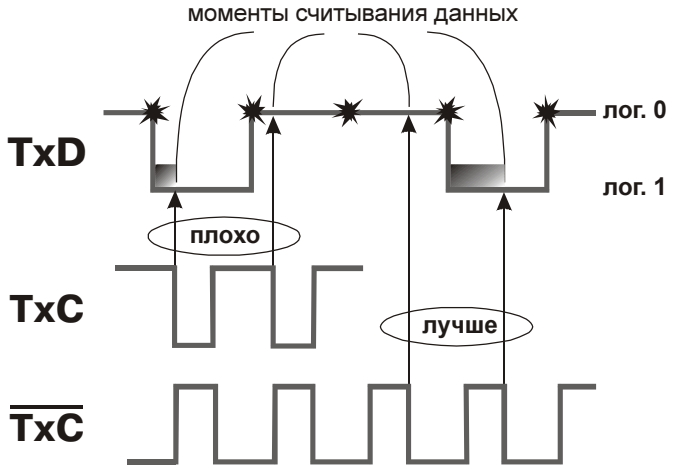

Рис. 1.8. Пример реальной временной диаграммы.
В отличие от “теоретической” (см. Рис. 1.7), здесь скважность синхросигналов отлична от двух, а данные поступают с заметной задержкой

В данном примере затемненными прямоугольниками показаны запасы времени установления сигнала TxD при его регистрации. Из рисунка видно, что лучше иметь больший запас, чем меньший, хотя здесь нас может подстерегать другая опасность – приближая отрицательный фронт синхросигнала к концу битового интервала (т.е.увеличивая длину затемненного прямоугольника), рискуем зарегистрировать нестабильные данные.

Возможность выбора того или иного варианта синхронизации существует благодаря тому, что синхроимпульсы не “пронумерованы”, т. е. не привязаны к “своим” битам данных. Иными словами, приемник данных TxD “не интересуется” происхождением синхросигнала (прямой он или инверсный, был ли в пути задержан на 10 или 1000 периодов и т. п.) – важно лишь то, чтобы он находился “в согласии” с данными и обеспечивал их надежный прием.

Рассмотрим оставшиеся сигналы лидирующей пятерки – RxD и RxC.

RxD (цепь 104) – Received data – данные, принимаемые устройством DTE в асинхронном или синхронном режиме. Асинхронный режим передачи сигналов RxD аналогичен рассмотренному ранее (см. Рис. 1.5, на котором обозначение TxD теперь следовало бы изменить на RxD). Синхронный режим также аналогичен рассмотренному ранее варианту 1 передачи сигналов TxD (Рис. 1.9).

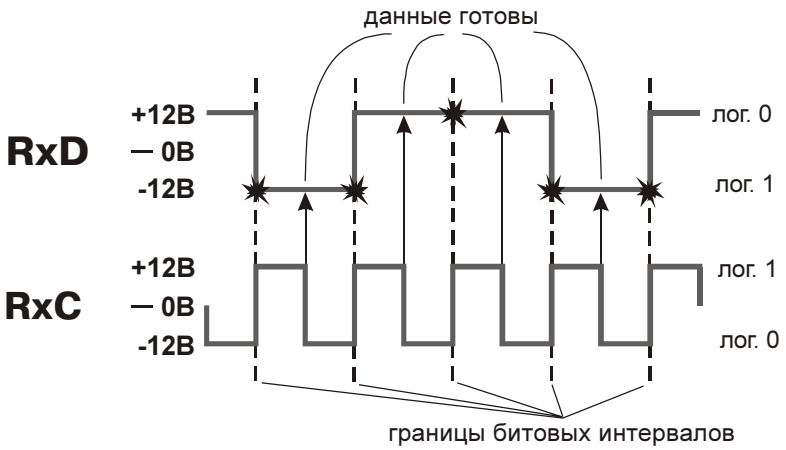

Рис. 1.9. Временная диаграмма передачи данных RxD в синхронном режиме

RxC (цепь 115) – Receiver signal element timing (DCE) – сигнал синхронизации данных RxD, формируемый устройством DCE. Истинность бита данных подтверждается отрицательным фронтом сигнала RxC, как показано на рисунке; смена бита данных возможна по положительному фронту сигнала RxC.

1.4.3. Третий – лишний: DTR – DSR или DTR – DCD?

Начнем с определений.

DTR (цепь108/2) – Data terminal ready – готовность устройства DTE к обмену данными.

DSR (цепь 107) – Data set ready – готовность устройства DCE к обмену данными.

DCD (цепь 109) – Data channel received line signal detector – детектор принимаемого линейного сигнала канала данных. Иными словами, это подтверждение наличия в линии сигнала от удаленного абонента, причем гарантируется, что параметры принимаемого сигнала лежат в заранее оговоренных пределах для его уверенного распознавания. Напомним, что традиционная расшифровка сокращения DCD – Data carrier detect – сигнал обнаружения несущей.

Первоначально сигналы DTR и DSR рассматривались как “парные”, т. е. взаимодополняющие, квитирующие. Это вполне естественно, так как прежде чем начать обмен данными, нужно как минимум иметь сведения о готовности партнера к обмену. Однако сегодня пара DTR – DSR явно “устарела”, и более информативной выглядит пара DTR – DCD. Чтобы понять почему это произошло, обратимся к недавней истории.

В ранних разработках телекоммуникационной аппаратуры широко использовался полудуплексный режим обмена данными с удаленным абонентом. В таком режиме данные передаются попеременно то в одном, то в другом направлении. Ясно, что в полудуплексном режиме при передаче данных в линию сигнал DCD не несет информации, так как принимаемого сигнала нет. Поэтому пара сигналов DTR – DSR, как и положено, подтверждает взаимную готовность устройств к работе, а сигнал DCD обретает смысл лишь в периоды приема данных из линии.

С развитием телекоммуникационной аппаратуры основным режимом обмена стал полностью дуплексный, при котором данные передаются одновременно в обе

стороны. В таком режиме сигнал DCD имеет смысл на протяжении всего времени пребывания на связи “нашего” и удаленного модемов. Поэтому появилась возможность возложить на сигнал DCD дополнительную смысловую нагрузку, которую ранее нес сигнал DSR (последний и стал “лишним”). Другими словами, теперь многие устройства типа DCE спроектированы так, что сигнал DCD “отвечает” не только за обнаружение несущей, но и за общую готовность устройства к работе.

Таким образом, сигнал DSR во многом утратил былое значение, и сейчас в массе производимых отечественных и зарубежных изделий пары взаимодополняющих сигналов DTR – DCD встречаются чаще чем DTR – DSR. При этом цепь передачи сигнала DSR может отсутствовать; на освободившийся вход DSR устройства DTE обычно подается постоянное напряжение +12В, имитирующее готовность устройства DCE к работе.

1.4.4. Трудная судьба сигналов RTS и CTS

Все дело в том, что сейчас эти сигналы в подавляющем большинстве случаев используются не по прямому назначению. Сначала рассмотрим их определения согласно рекомендации V.24(03/93).

Прямое назначение . . .

RTS (цепь 105) – Request to send – запрос на передачу данных;

CTS (цепь 106) – Ready for sending – готовность к передаче данных. Традиционная расшифровка сокращения CTS – Clear to send – дословно, “свободен, прозрачен для передачи”.

Здесь, видимо, вновь не обойтись без исторического экскурса во времена широкого распространения полудуплексного режима обмена данными с удаленным абонентом. В те времена (да иногда и теперь, если следовать упомянутой рекомендации) сигнал RTS, попросту говоря, выражал просьбу, адресованную устройству DCE со стороны устройства DTE, примерно такого содержания: “прошу при первой возможности переключиться из состояния прослушивания линии связи с удаленным абонентом в режим передачи данных в эту линию”. После выполнения этой просьбы в устройство DTE посылался ответный сигнал CTS, подтверждавший факт переключения устройства DCE с приема на передачу данных в линию. Отметим, что к этому моменту удаленный абонент также должен был успеть переключиться с передачи на прием (если он передавал данные в ту же линию), чтобы исключить конфликты. И, наконец, после получения сигнала CTS устройство DTE начинало выдачу данных TxD.

Итак, налицо явный анахронизм. Тем не менее, в модеме М-144 применено простое и эффективное техническое решение для поддержки устройств “старшего поколения”. Точнее, при работе в синхронном режиме предусмотрено формирование сигнала CTS путем повторения входного сигнала RTS без задержки, либо с задержкой 5 или 40 мс. Задержка нужна для сопряжения с некоторыми устройствами, которые в свое время были спроектированы без учета возможной “мгновенной” реакции со стороны модема.

. . . и альтернативное

В асинхронном режиме сигналы RTS и CTS обслуживают оба направления передачи данных, что выходит за рамки рекомендации V.24(03/93) и отражает некий “стандарт де-факто”. Поэтому наименования сигналов не соответствуют (точнее, противоречат) их назначению. Сигнал RTS теперь рассматривается как готовность устройства DTE принять данные RxD от устройства DCE. Аналогично сигнал CTS свидетельствует о готовности устройства DCE принять данные TxD от устройства DTE и способности передать эти данные в линию.

Логика работы такова: передача данных в ту или иную сторону возможна только при условии, что приемник готов эти данные принять. Если обнаружена “неготовность” приемника, то источник данных приостанавливает работу, ждет появления готовности, возобновляет передачу, и т. д. Это – так называемое “аппаратное управление потоком данных” (hardware flow control), в отличие от программного.

1.5. Программное управление потоком данных

Этот метод управления (software flow control) применим только в асинхронном режиме при использовании кода ASCII (или иного символьного кода, построенного на основе ASCII; забегая вперед, отметим, что коды служебных символов Xon и Xoff не должны совпадать с кодами символов алфавита, цифр и знаков). Сигналы RTS и CTS не используются, на соответствующие входы устройств DCE и DTE подается напряжение +12В, имитирующее готовность устройств к обмену данными.

В устройстве DTE имеется входная буферная память, в которую записывается поток данных, принимаемых по цепи RxD. Аналогично в устройстве DCE содержится буферная память для временного хранения данных, принимаемых по цепи TxD. Задача состоит в том чтобы предотвратить переполнение буферной памяти в каждом устройстве, если темп поступления данных выше темпа их рассасывания.

Рассмотрим сначала ситуацию, при которой устройство DTE (компьютер, см. Рис. 1.4) не справляется с потоком данных RxD, поступающих из линии через устройство DCE (модем). Такое может произойти даже при не очень высокой скорости асинхронного обмена, если, например, компьютер в данный период выполняет более приоритетную задачу, не связанную с текущим обменом.

Когда буфер устройства DTE заполняется до некоторого критического уровня, например до 90% , компьютер переходит к прерывающей программе, которая предписывает выдать в цепь TxD символ Xoff – код 13_{16} = 0001.0011_2 в ASCII. Получив этот символ, модем приостанавливает выдачу данных RxD. В зависимости от построения программного обеспечения компьютер либо сразу возвращается к прерванной задаче, либо приступает к разгрузке буфера, либо переходит к каким-либо иным действиям. Во всяком случае, должен наступить момент, когда буфер окажется достаточно свободным для получения новых данных. Тогда в цепь TxD будет программно выдан символ Xon = 11_{16} , модем возобновит выдачу данных RxD и т. д.

В противоположной ситуации, когда модем не справляется с потоком данных TxD, он посылает в компьютер по цепи RxD символ Xoff, приостанавливая поток. После рассасывания данных через линию модем посылает по цепи RxD символ Xon, передача данных возобновляется, и т. д.

Примечательно, что символы Xon и Xoff, посылаемые из компьютера в модем, в линию связи с удаленным абонентом не передаются.

1.6. Трехпроводный вариант RS-232

В этом варианте кабель, соединяющий два устройства, содержит всего три провода: один – для объединения цепей сигнальной земли, второй и третий – для передачи сигналов TxD и RxD, см. Рис. 1.4, на котором следовало бы исключить все “лишние” связи, а на освободившиеся входы подать напряжение +12В. (Но все же правильнее было бы использовать две витые пары проводов “земля – сигнал” чтобы уменьшить амплитуду перекрестных помех.)

Поскольку цепи синхронизации отключены, обмен данными возможен только в асинхронном режиме. Как уже отмечалось (см. п. 1.4), при достаточном “интеллекте” устройств можно вводить в поток символов “уникальные” коды, которые расцениваются приемником как команды, так что трехпроводный вариант интерфейса оказывается не столь примитивным, как это может показаться на первый взгляд.

Существует и аппаратная поддержка трехпроводного варианта интерфейса, правда затрагивающая всего лишь один режим, связанный с окончанием сеанса связи между устройствами. Если одно из устройств “желает” прекратить взаимодействие с другим устройством, то оно вместо “нормального” формирует “растянутый” старт-бит длительностью более 300 мс. Устройство-приемник первоначально расценивает эту ситуацию как ошибочную, но по истечении 300 мс принимает к сведению факт логического разрыва соединения и очищает свою буферную память от ошибочных данных, принятых за это время.

1.7. Электрические уровни сигналов RS-232

Возвращаясь к Рис. 1.4 отметим, что, согласно интерфейсу RS-232, электрические уровни сигналов отсчитываются от “сигнальной земли” SG, цепь 102 – signal ground or common return. Управляющие сигналы передаются в прямом коде, т. е. наличию сигнала соответствует типовой уровень напряжения +12В, а его отсутствию – минус 12В. Данные TxD и RxD представлены в обратном коде, т. е. сигналу лог. 1 соответствует напряжение минус 12В, а сигналу лог. 0 – напряжение +12В, см. Рис. 1.5 – Рис. 1.8. Старт- и стоп-биты (см. Рис. 1.5) передаются соответственно положительным и отрицательным уровнями напряжения.

Формирователь сигнала должен выдавать напряжение высокого уровня в пределах +5...+15В или напряжение низкого уровня в пределах минус 5...15В (типовое значение: ±12В). Приемник расценивает входное напряжение из диапазона +3...+25В как напряжение высокого уровня, и из диапазона минус 3...25В как напряжение низкого уровня.

Если вход не используется, то на него следует подать соответствующее напряжение высокого или низкого уровня. Например входы DSR, DCD, TxC и CTS (см. Рис. 1.4) можно отключить от соответствующих цепей и подать на них напряжение +12В. При этом предполагается, что модем всегда готов к работе, в линии постоянно присутствует полноценный принимаемый сигнал, передача данных TxD в синхронном режиме происходит только с использованием сигнала CLK, управление потоком данных в асинхронном режиме либо программное (Xon – Xoff), либо аппаратное (hardware flow control), но одностороннее, при котором модем никогда не “возражает” против приема данных TxD, а в синхронном режиме он всегда готов начать или продолжить прием данных TxD и их передачу в линию.

Следует иметь в виду, что если неиспользуемый вход приемника оставить неподключенным, то из-за высокого входного сопротивления приемника и наводок от соседних проводов в кабеле, могут наблюдаться произвольные изменения

состояния этого входа и, как следствие, появятся ложные запросы на обработку прерываний. И еще одно. Так как в интерфейсе не предусмотрена цепь, на которой всегда присутствует положительное напряжение, неиспользуемый вход приемника соединяют с выходом передатчика, на котором это напряжение в “нужный момент” обязательно появится.

1.8. Взаимодействие одноименных устройств (DTE – DTE или DCE – DCE) в асинхронном режиме

На практике часто необходимо соединить между собой два одноименных устройства: DTE – DTE или DCE – DCE. Сначала рассмотрим взаимодействие этих устройств в асинхронном режиме (при котором цепи синхронизации не используются); взаимодействие в синхронном режиме описано в п.2.

1.8.1. Нуль-модемные кабели

На Рис. 1.10 показаны некоторые варианты соединения устройств типа DTE.

Предположим, что все показанные на рисунке устройства – компьютеры, и каждый из них “уверен”, что его партнер – модем (именно для такой пары и был в свое время разработан интерфейс RS-232). Но модема в действительности нет, поэтому в данной ситуации соединительные кабели между устройствами называют “нуль-модемными”.

Показаны не все возможные варианты кабелей. К сожалению, если в документации на устройство нет четко сформулированных условий формирования и проверки управляющих интерфейсных сигналов (а так чаще всего и бывает), то “творческий процесс” неизбежен – придется применять разные варианты кабелей.

Цифрами обозначены номера контактов соединителя DB-25 (вилка), штриховой линией обозначен провод, соединяющий цепи GND защитной земли (этих цепей может и не быть); цепи сигнальной земли SG в общем случае изолированы от цепей GND. Во всех вариантах выход TxD соединен с входом RxD устройства – партнера.

Вариант *а* отличается от варианта *б* способом формирования входного сигнала DCD: в первом случае он повторяет сигнал DTR, во втором – сигнал RTS устройства – партнера. Вариант *а*, пожалуй, наиболее логичен. Действительно, здесь видим две (и даже три!) “классические” пары взаимодополняющих сигналов управления: RTS – CTS, DTR – DSR и DTR – DCD. Этот вариант кабеля наиболее популярен, и его имеет смысл использовать в тех случаях, когда нет достаточной информации об особенностях реализации интерфейса соединяемых устройств.

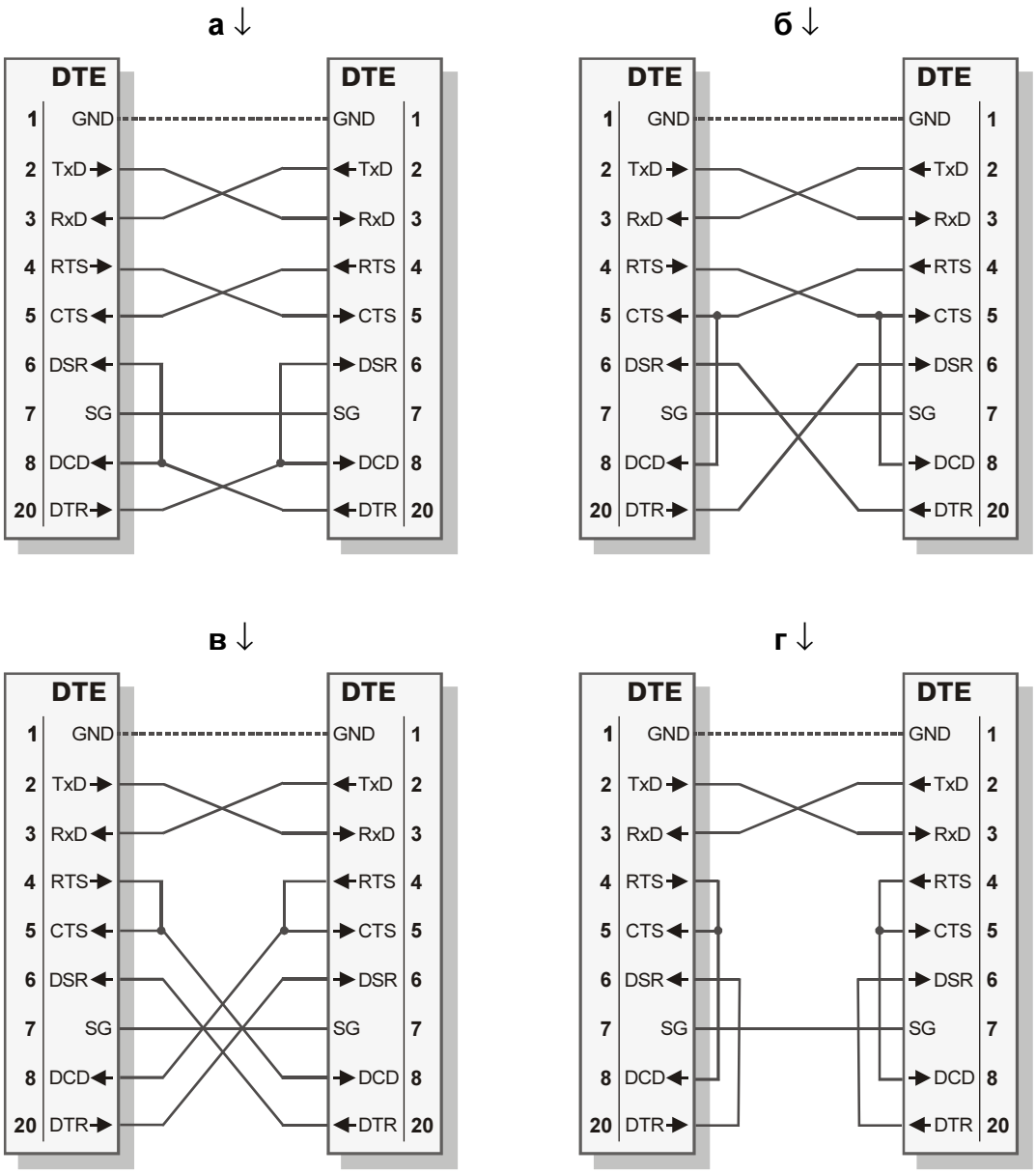

Рис. 1.10. Некоторые варианты соединения устройств типа DTE

В варианте *б* входы CTS и DCD объединены. Это означает, что пассивное состояние сигнала на объединенных входах (напряжение –12В) воспринимается не только как неготовность приемника устройства – партнера, но и как его общая неготовность к работе. Поэтому помимо “классического” аппаратного управления потоком данных по цепям RTS – CTS (как в варианте *а*), здесь наблюдается некий “побочный эффект”. Он заключается в том, что приостановка потока в одном из направлений (снятием сигнала RTS) влечет за собой прекращение приема данных, передаваемых в противоположном направлении, так как при отсутствии сигнала DCD принимать данные нет смысла. Хорошо это или плохо – решает тот, кто точно знает цель построения конкретной системы из двух устройств типа DTE.

Вариант *в* отличается от варианта *б* невозможностью работы в режиме аппаратного управления потоком данных, так как между устройствами нет связей по цепям RTS – CTS. Сходство этих вариантов – в полной блокировке обмена данными между устройствами при отсутствии сигнала RTS хотя бы в одном из них.

Вариант *г* предполагает постоянную готовность устройства – партнера к работе, так как входные управляющие сигналы имитируются, а не отражают истинное положение вещей.

1.8.2. Пример сопряжения двух устройств типа DCE

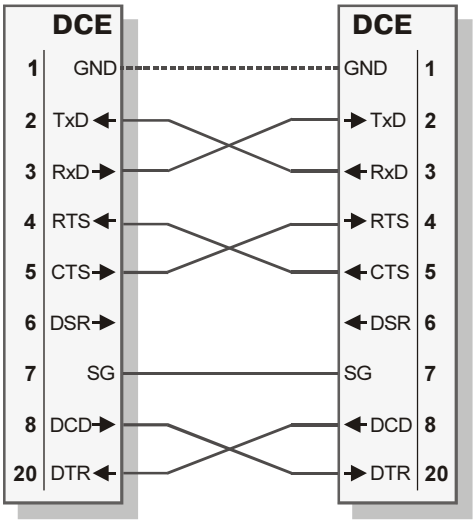

Рис. 1.11. Схема сопряжения двух устройств типа DCE

Схемы сопряжения устройств типа DCE по смыслу близки рассмотренным ранее. Все они содержат общие цепи сигнальной и (не всегда) защитной земли (SG и GND), а также две перекрестные связи RxD – TxD, см. Рис. 1.11. В данном примере задействованы пары цепей CTS – RTS и DCD – DTR. Здесь также можно предложить ряд вариантов соединения. Например вместо выхода DCD можно использовать выход DSR, выходы CTS можно соединить перемычками с входами RTS “своих” же устройств и т. п.

Интересно отметить, что соединительные кабели между устройствами DCE часто также называют “нуль-модемными”, хотя их по аналогии правильнее было бы назвать “нуль-компьютерными”.

2. Примеры схем взаимодействия устройств типа DTE и DCE в синхронном режиме

2.1. Вводные замечания 21
2.2. Системы с внутренней синхронизацией 22
2.3. Системы с внешней синхронизацией.....23
2.4. Используем модем как устройство типа DTE !.....25
2.5. Система с двумя последовательно включенными каналами связи 25

2.1. Вводные замечания

В синхронном режиме, так же как и в асинхронном, возможно взаимодействие устройств DTE и DCE в любых сочетаниях.

Напомним, что пара устройств DTE – DCE обычно объединяется “прямыми” связями между одноименными контактами соединителей (см. Рис. 1.4). Отметим также, что “тройка” сигналов синхронизирующей группы (CLK, TxC, RxC) не используются одновременно: возможны лишь сочетания CLK – RxC или TxC – RxC (см. п. 1.4.2.2). При объединении одноименных пар устройств (DTE – DTE и DCE – DCE) помимо использования цепей, рассмотренных ранее (см. Рис. 1.10, Рис. 1.11), необходимо также должным образом соединить контакты, отвечающие за синхронизацию.

Можно предложить десятки вариантов схем сопряжения одноименных и разноименных устройств (DTE и DCE). Эти схемы различаются числом и местоположением источников синхросигналов, выбором сочетания цепей CLK – RxC или TxC – RxC, структурными особенностями устройств, схемами кабелей, и т. д.

Чтобы не запутаться в этих вариантах и не тратить силы на изучение полуэкзотических решений, рассмотрим лишь некоторые “показательные” схемы сопряжения. Для этого обратимся к наиболее распространенным примерам построения синхронных каналов связи между удаленными устройствами, Рис. 2.1 – Рис. 2.4.

В этих схемах данные передаются между оконечными устройствами через устройства типа DCE 1 и 2 (в наших примерах – через модемы) по каналу связи. Простейший канал связи – это одна или две витые пары медных проводов. В более общем случае канал связи может содержать последовательно включенные ретрансляторы, мультиплексоры и иные устройства. Но в наших примерах существенно только то, что канал связи представляет собой всего лишь некоторую среду передачи данных, “смешанных” с синхросигналами. При этом передача ведется одновременно в обоих направлениях. Для упрощения рисунков показаны только траектории распространения синхросигналов.

Канал связи с подключенными к его началу и концу устройствами типа DCE удобно рассматривать как элементарную функционально-законченную транспортную систему передачи данных. Эта система может синхронизироваться от собственных или внешних опорных генераторов; тогда ее обычно называют соответственно системой с внутренней или внешней синхронизацией.

2.2. Системы с внутренней синхронизацией

В схеме, приведенной на Рис. 2.1, каждое направление передачи данных обслуживается соответствующим генератором G1 и G2 синхросигналов высокой точности и стабильности*. Номинальные частоты сигналов этих генераторов одинаковы, но фактически они, конечно, несколько различны (абсолютного совпадения быть не может). Рассмотрим процесс передачи данных из устройства DTE 1 в устройство DTE 2.

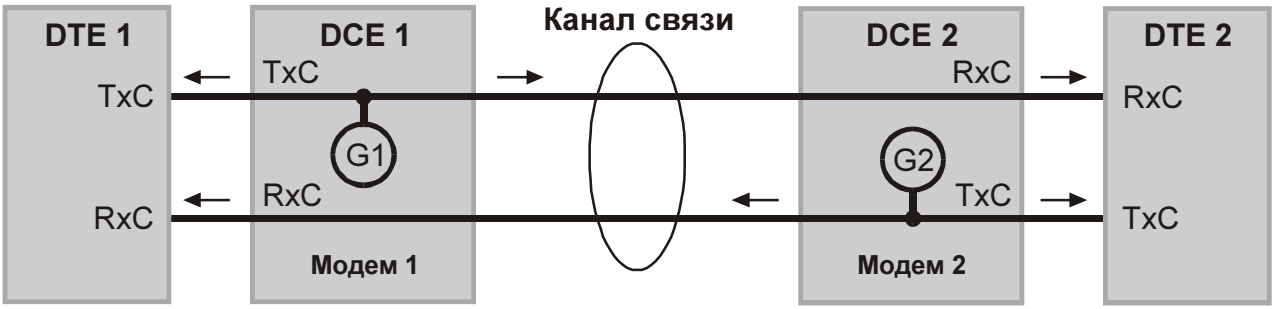

Рис. 2.1. Пример системы с внутренней синхронизацией, первый вариант. Показаны пути распространения синхросигналов

Под действием сигнала TxC от генератора G1 устройство DTE 1 выдает данные TxD (на рисунке не отображены) в соответствии с временной диаграммой, приведенной на Рис. 1.7. Эти данные поступают в модем 1, временно в нем запоминаются и затем под действием синхросигнала от того же генератора (G1) кодируются и передаются в канал связи. Таким образом, в канал поступает “смесь” данных с синхросигналом.

Модем 2 выделяет из полученной по каналу “смеси” синхросигнал и данные. Синхросигнал “очищается” от помех (подробнее – см. гл. 3), данные временно запоминаются. Далее под управлением восстановленного синхросигнала, именуемого теперь RxC, данные RxD (на рисунке не показаны) передаются из модема 2 в устройство DTE 2 в соответствии с временной диаграммой, приведенной на Рис. 1.9. Схема симметрична, поэтому процесс передачи данных в обратном направлении аналогичен описанному.

Схема, приведенная на Рис. 2.2, отличается от предыдущей тем, что вместо синхросигнала от генератора G2 используется синхросигнал, выделенный из канала. В данном случае все процессы протекают под управлением генератора G1 “ведущего” (Master) модема 1. “Ведомый” (Slave) модем 2, по существу, помимо прочего, выполняет функцию ретранслятора синхросигнала от генератора G1.

Передача данных из устройства DTE 1 в устройство DTE 2 аналогична описанной ранее. При передаче данных в обратном направлении они временно запоминаются в модеме 2 и затем выдаются в канал – но теперь эти процессы синхронизируются выделенным из канала сигналом.

---

* Термин *точность* определяет степень соответствия между номинальной (“заявленной”) частотой генератора и усредненной по времени фактической (измеренной) частотой. Например, генератор с номинальной частотой 10 МГц может иметь фактическую частоту, усредненную за 100 часов, отличающуюся от номинальной на 0,4 Гц. Термин *стабильность* определяет степень соответствия между фактической усредненной по времени и “мгновенной” измеренной частотой. Эти частоты, например, могут различаться на 0,7 Гц. Таким образом, генератор может быть: (*а*) точным и стабильным, (*б*) точным, но нестабильным, (*в*) неточным, но стабильным, и, наконец, (*г*) неточным и нестабильным. Для оценки генераторов приняты стандартные уровни качества, см. п. 3.5.

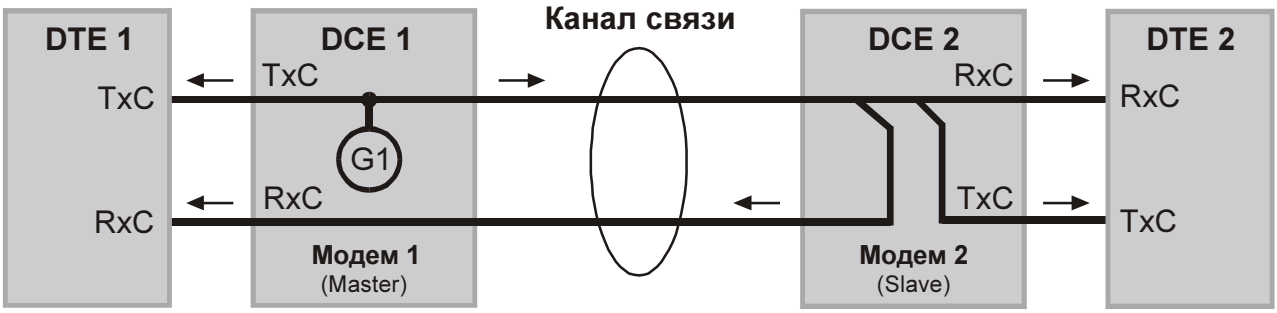

Рис. 2.2. Пример системы с внутренней синхронизацией, второй вариант

Отметим, что сигналы TxC и RxC на входах устройства DTE 1 имеют одинаковую частоту, но взаимно сдвинуты по фазе на некоторый заранее не известный угол. Поэтому передаваемые и принимаемые данные принадлежат взаимно сдвинутым по фазе “синхросеткам”, по которым определяются границы и центры битовых интервалов. Этот сдвиг вызван существенным различием задержек распространения сигнала от одного и того же генератора (G1) до входов устройства DTE 1 по “короткому” и “длинному” путям. (Кроме того, качество сигнала после его прохождения по “длинной” петле может в той или иной степени снизиться; но об этом – отдельный разговор, см. гл. 3, п. 3.6.)

Для нормальной работы некоторых устройств (мультиплексоров и т. п.) только что упоминавшийся фазовый сдвиг между синхросетками передаваемых и принимаемых данных недопустим. Решение задачи выравнивания фаз будет показано на примере схемы, приведенной на Рис. 2.4.

2.3. Системы с внешней синхронизацией

В схеме на Рис. 2.3, в отличие от предыдущей, опорный генератор размещен в оконечном устройстве типа DCE. Под действием синхросигнала с этого генератора данные передаются из устройства DCE 1 в модем 1, временно запоминаются в нем и затем в “смеси” с синхросигналом поступают в канал связи. Модем 2 и оконечное устройство типа DTE работают в тех же режимах, что и в предыдущей схеме. Обратная передача данных из модема 1 в устройство DCE 1 сопровождается выделенным из канала сигналом RxC, который при поступлении в это устройство “трактуется” как сигнал CLK.

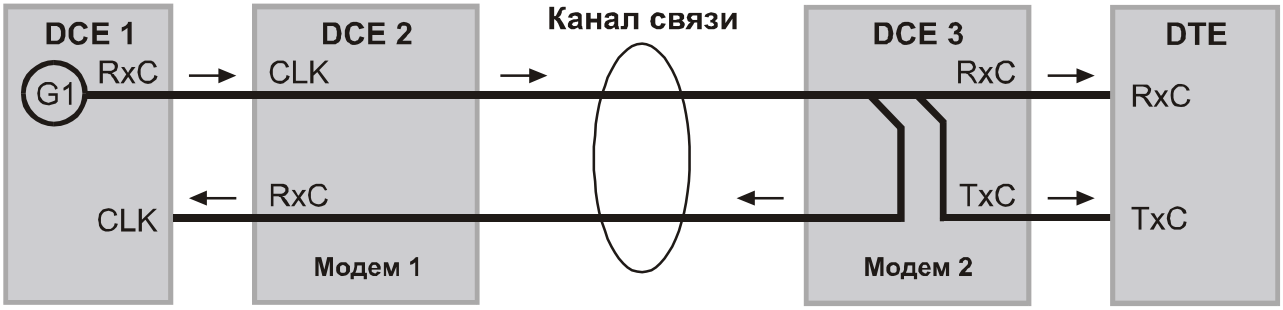

Рис. 2.3. Пример системы с внешней синхронизацией, первый вариант

Схема, приведенная на Рис. 2.4, отличается от предыдущей двумя существенными признаками.

Во-первых, генератор G1 формирует синхронные и синфазные сигналы RxC и TxC. Они, как и положено, соответственно сопровождают “свои” выходные данные и запрашивают “чужие”, поступающие на вход устройства DCE 1. Таким образом, модем 1 при взаимодействии с устройством DCE 1 должен выдавать и принимать данные в соответствии с одной и той же синхросеткой.

Во-вторых, модем 1 (типа М-64 ф. Зелакс) дополнительно выполняет функцию привязки принимаемых из канала данных к исходному синхросигналу от генератора G1. Это осуществляется следующим образом. Модем 1, как и в предыдущих примерах, выделяет из канального сигнала синхроимпульсы и данные. Под действием этих синхроимпульсов принятые из канала данные временно запоминаются в “эластичной” памяти (на рисунке не показана; подробности – в гл. 3). В отличие от описанного ранее “сквозного” прохождения синхросигнала через модем 1, дальнейшее распространение выделенных из канала синхроимпульсов прекращается, что условно отражено на схеме “крестиком”.

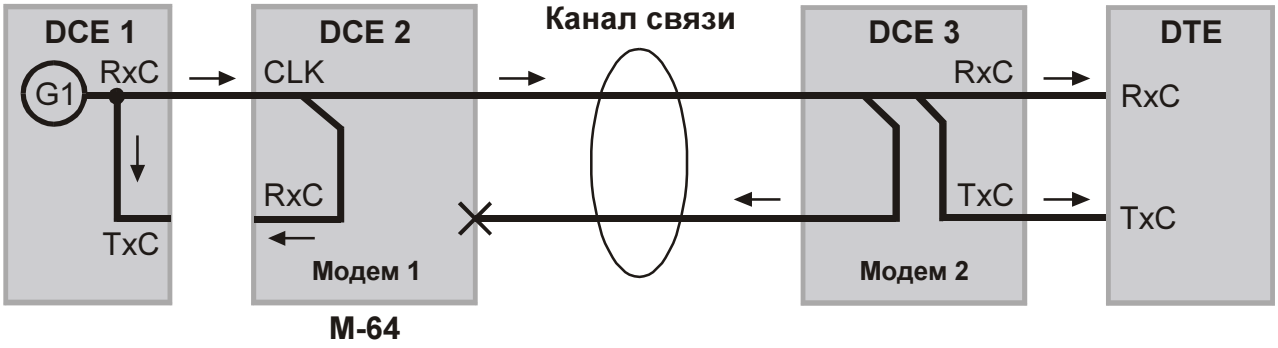

Рис. 2.4. . Пример системы с внешней синхронизацией, второй вариант

Данные считываются из эластичной памяти под управлением сигналов от генератора G1, поступающих по цепи G1 – RxC – CLK. Эти данные сопровождаются “своим” сигналом RxC, который, однако, в данной схеме не используется.

В результате имеем следующую “картину”. Устройство DCE 1 сопровождает свои выходные данные сигналом RxC. Модем 1 принимает этот сигнал на вход CLK и под его управлением временно запоминает входные данные и пересылает их в канал. В то же время устройство DCE 1 запрашивает данные от модема 1 сигналом TxC, совпадающим с RxC. Оно “уверено” в привязке поступающих от модема 1 данных к сигналу TxC. И эта “уверенность” оправдывается благодаря правильному выбору режима синхронизации эластичной памяти.

2.4. Используем модем как устройство типа DTE !

Пара модемов Зелакс М-144 может работать с каналом связи в различных режимах. При этом, в частности, один из модемов может рассматриваться как устройство типа DTE. Здесь мы ознакомимся только с одним из таких режимов (Рис. 2.5).

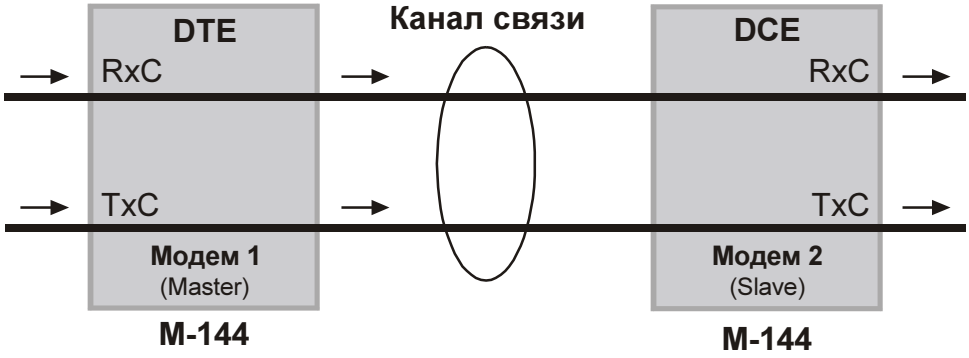

Рис. 2.5. Один из семи вариантов подключения модемов М-144 к каналу связи.

Как следует из схемы, модемы 1 и 2 выполняют соответственно функции устройств типа DTE и DCE. При этом обеспечивается параллельное и “сквозное” прохождение сигналов синхронизации “слева – направо” от двух внешних источников синхронизации, в общем случае независимых. Неизбежно возникает вопрос: а может ли синхросигнал TxC распространяться в канале навстречу “своим же” данным (т. е. как бы “против течения”)? – Да, может, но описание подробностей такого распространения выходит за рамки настоящей главы. Примем пока этот факт “на веру”.

2.5. Система с двумя последовательно включенными каналами связи

В схеме, приведенной на Рис. 2.6, применены два рассмотренных ранее решения, см. Рис. 2.1 и Рис. 2.5. Последнее использовано в качестве “удлинителя” для передачи сигналов RxC и TxC к удаленному оконечному устройству DTE 3. Пару модемов 2 и 3, расположенных недалеко друг от друга, можно рассматривать как ретранслятор.

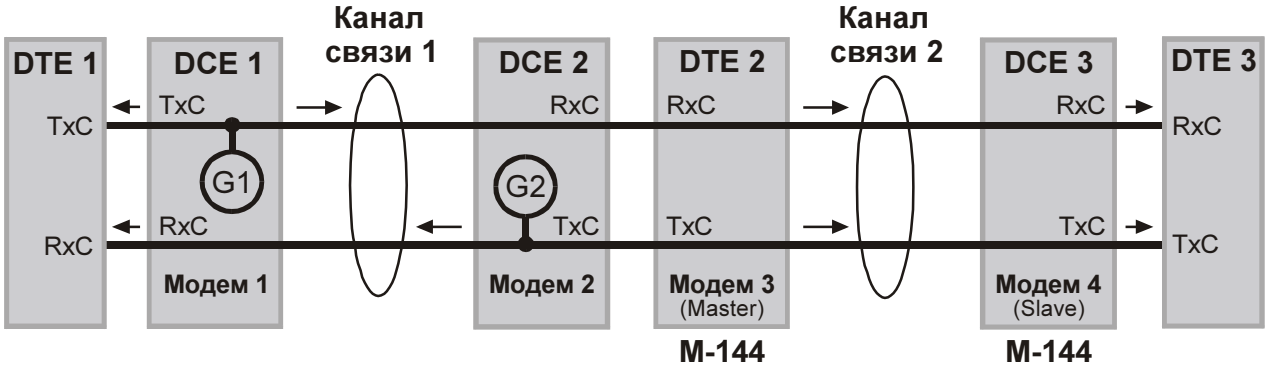

Рис. 2.6. Система с двумя последовательно включенными каналами связи

При проектировании систем с внутренней и внешней синхронизацией необходимо следить за тем, чтобы в них не было замкнутых контуров распространения синхросигнала, не связанных с опорным генератором. Из приведенных схем следует, что в них таких контуров нет. Но в более сложных системах, состоящих из десятков или сотен синхронных устройств, предотвратить возникновение таких контуров бывает не просто (см. гл. 3).

А теперь, следуя принципу “от простого – к сложному”, рассмотрим вопросы синхронизации с более общих позиций.

…продолжение следует