

# Командно-информационные сети – что это такое?

*Настоящая статья призвана ознакомить читателей с командно-информационными сетями, которые в последнее время нашли широкое применение в малых системах автоматизации производственных установок, системах автоматизации научного эксперимента, измерительных системах, лабораторной и радиолюбительской технике.*

**Р**азвитие современных систем автоматизации производства, измерений, научных исследований и лабораторной техники характеризуется все большим внедрением в эти области современных персональных компьютеров (PC) и локальных сетей (LAN).

Основными факторами, определяющими внедрение PC в эти области, являются:

- значительное снижение стоимости PC при одновременном повышении их вычислительной мощности и надежности;
- появление множества мощных и дешевых семейств микроконтроллеров;
- глобальная тенденция к реструктуризации больших промышленных и научных учреждений и созданию на их основе малых производственных фирм и научно-исследовательских центров;
- снижение или полное прекращение централизованного финансирования автоматизации производства и научных исследований;
- моральное устаревание магистрально-модульных систем типа CAMAC, MULTIBUS, VME и т. д.; развитие архитектуры новых магистрально-модульных систем [1].

Перечисленные факторы создали предпосылки к замене морально устаревших и дорогостоящих модульных систем на современные малые распределенные мультимикропроцессорные (а точнее мультимикроконтроллерные) системы, которые, собственно, и называют LAN. Существует достаточно большое количество типов LAN, однако наиболее часто в последнее время используются так называемые командно-информационные сети [2–4].

## 1. Основные понятия о CI LAN

Командно-информационные сети (Command-Informational LAN – CI LAN) – локальные сети, состоящие только из одного PC и нескольких микроконтроллеров, которые принято называть периферийными станциями (Peripheral Stations – PS).

Основным принципом работы CI LAN является то обстоятельство, что единственный в сети PC играет роль генератора команд для всех микроконтроллеров и получателя всей информации от них, отсюда и название – “командно-информационные сети”. Другими словами, инициатором любых процессов в CI LAN может быть только PC. Станции (микроконтроллеры) лишь получают и распознают команды, исполняют их, производят первичную обработку и, если необходимо, передают данные в PC. В некоторых CI LAN делается одно исключение для аварийных ситуаций, когда одна или несколько PS могут генерировать сигнал аварии. Но это скорее исключение, чем правило.

На PC, как на наиболее мощный и оснащенный периферией элемент сети, возлагаются задачи по вторичной обработке и сохранению данных, их интерпретации и визуализации. Микроконтроллеры PS измеряют различную аналоговую информацию или получают дискретную информацию от других приборов, производят первичную обработку данных, управляют различными исполнительными устройствами, производят автотестирование, а также передают необходимые данные в PC.

Рассмотрим основные требования, предъявляемые к CI LAN:

- с целью снижения стоимости системы и обеспечения взаимозаменяемости в составе CI LAN используются PC в стандартной конфигурации (т. е. имеющие два порта RS-

232C, один из которых, как правило, занят), а связь осуществляется через свободный порт RS-232C;

- желательно использовать либо стандартные компьютерные кабели с разъемами типа DB9, либо “витую пару”, либо четырехжильные телефонные экранированные кабели, т. к. наиболее дорогостоящим и трудоемким элементом современных LAN является кабель передачи данных – сетевая среда (Transmission Medium – TM);
- желательно ограничивать длину LAN до минимума из-за того, что общая длина сетевой среды влияет на скорость передачи данных;
- важнейшим требованием к CI LAN, работающим в условиях сильных электромагнитных и электростатических полей или в лабораторных условиях, является наличие гальванической развязки периферийных станций (контроллеров) от сетевой среды (а иногда и PC от сетевой среды); в современных CI LAN гальваническая развязка достигается с помощью элементов с оптической изоляцией – оптронов;
- с целью снижения стоимости и объема аппаратных затрат в CI LAN, в основном, используются два типа интерфейсов: RS-232C и RS-485.

Структурная схема (топология) CI LAN приведена на рис. 1.

Типичная CI LAN содержит: PC – персональный компьютер; DPC (Dispatcher PC) – диспетчер PC; TM (Transmission Medium) – сетевую среду; S1...SN – станции; MGT (Station Management) или DS (Station Dispatcher) – диспетчеры станций.

Диспетчер PC – узел, согласующий порт RS-232C персонального компьютера с сетевой средой. Если CI LAN строится на базе протокола RS-485, то DPC оптически изолирует порт RS-232C персонального компьютера и преобразует интерфейс RS-232C в интерфейс RS-485. В случае построения CI LAN на базе протокола RS-232C, узел не является обязательным и, по сути, оптически изолирует некоторые сигналы интерфейса RS-232C. Диспетчер станции DS преобразует сигналы RS-232C или RS-485 во внутренние сигналы станции. Как правило, каждый DS имеет два одинаковых разъема DB9F (Xi.1 и Xi.2), соединенных параллельно. Сетевая среда в CI LAN выполняется в виде кабелей с однотипными разъемами DB9V одинаковой либо разной длины, соединяемых последовательно. Это позволяет легко и оперативно модифицировать сеть.

Различают малые (до 16 станций), средние (до 32 станций) и большие (до 128 станций) CI LAN. Малые CI LAN можно реализовать на базе интерфейсов RS-232C и RS-485, остальные – только на базе RS-485. Общая длина малых CI LAN обычно не превышает 20 м, в то время как средние и большие CI LAN могут иметь общую длину TM до 1 км и более.

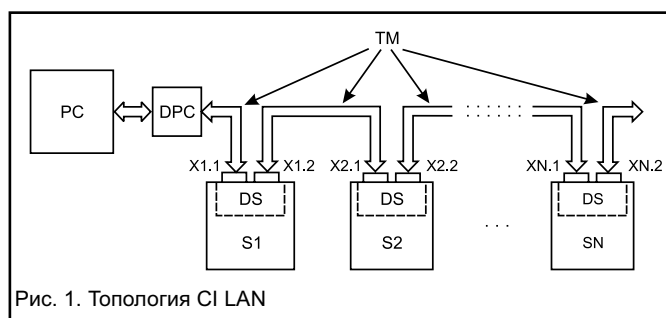


Рис. 1. Топология CI LAN

Если в CI LAN используется RS-232C, то сетевая среда, чаще всего, состоит из стандартных компьютерных кабелей с двумя разъемами DB9V (длиной 1 или 1,2 м). Если в CI LAN используется RS-485, то сетевая среда обычно выполняется из четырехжильного телефонного провода с общим экраном и изоляцией, оснащенным двумя разъемами DB9V.

## Общие принципы функционирования CI LAN

Общая программа работы всей CI LAN находится на персональном компьютере. Он в заданные моменты времени выдает в сеть определенную последовательность байтов, называемую фреймом команды (Command Frame); все станции одновременно принимают фрейм команды (форматы фреймов будут описаны ниже); одна из них определяет, что фрейм адресован ей, и выполняет предписанные действия, после чего передает в PC фрейм ответа. Остальные станции, определившие, что принятый командный фрейм адресован не им, игнорируют его и ждут поступления следующего командного фрейма.

Отметим также некоторые особенности работы сетей на базе интерфейсов RS-232C и RS-485. Напомним, что интерфейс RS-232C имеет отдельные линии передачи TxD и приема RxD данных. Поскольку команды в CI LAN передает только PC, он монопольно использует линию TxD, и, следовательно, на этой линии конфликты от одновременно включенных нескольких передатчиков невозможны. При этом PC не имеет возможности контролировать передачу. Линия RxD используется всеми контроллерами, которые подключены к ней своими выходами. В случае нормальной работы аппаратуры и программного обеспечения станций, конфликтов на линии быть не должно, но при сбоях возможны конфликты вследствие одновременного подключения к линии нескольких передатчиков. Таким образом, линия RxD является линией со случайным (со стороны контроллеров) доступом и программным (со стороны PC) анализом конфликтов.

При использовании интерфейса RS-485 данные передаются по двум проводам, как в прямом, так и в обратном направлении, т. е. конфликты возможны как при передаче команд, так и приеме данных. За всеми конфликтами в сети

следит PC. В этом случае вся сеть является сетью со случайным доступом и программным анализом конфликтов. Кроме того, все участники такой сети (и PC, и PS) должны обеспечивать отключение своих передатчиков в перерывах между передачами и анализировать незанятость сети перед попыткой передачи.

Таким образом, информационно-командный принцип построения LAN предполагает следующие основные режимы обмена данными:

- получение любой из периферийных станций PS заданий от PC;
- передача в PC результатов измерений от любой станции PS (по запросу от PC);
- выполнение любой станцией PS самотестирования по команде PC с передачей результатов тестирования обратно в PC;
- аппаратный сброс всех станций по инициативе PC;
- передача в PC информации об аварийных ситуациях по инициативе любой станции PS.

## 2. Диспетчеры PC

На диспетчеров персонального компьютера (DPC) возлагаются две основные функции: сформировать сигналы среды передачи данных (TM) и обеспечить гальваническую развязку PC. Ниже приведены две схемы DPC для CI LAN на базе протоколов RS-232C и RS-485.

На рис. 2 представлена схема DPC для сети на базе протокола RS-232C.

Входная часть схемы DPC (слева) гальванически развязана от выходной части (справа) с помощью оптронов 4N35. Питание и управление входной частью осуществляется от выходных линий порта RS-232C персонального компьютера. При этом предполагается, что в рабочем режиме (приема и передачи данных) на линии RTS должно быть установлено положительное напряжение, а на линии DTR – отрицательное напряжение. Величины этих напряжений определяются исполнением материнской платы персонального компьютера и могут составлять от 9 до 12 В соответствующей полярности. Положительное напряжение с линии RTS поступает на коллекторы тран-

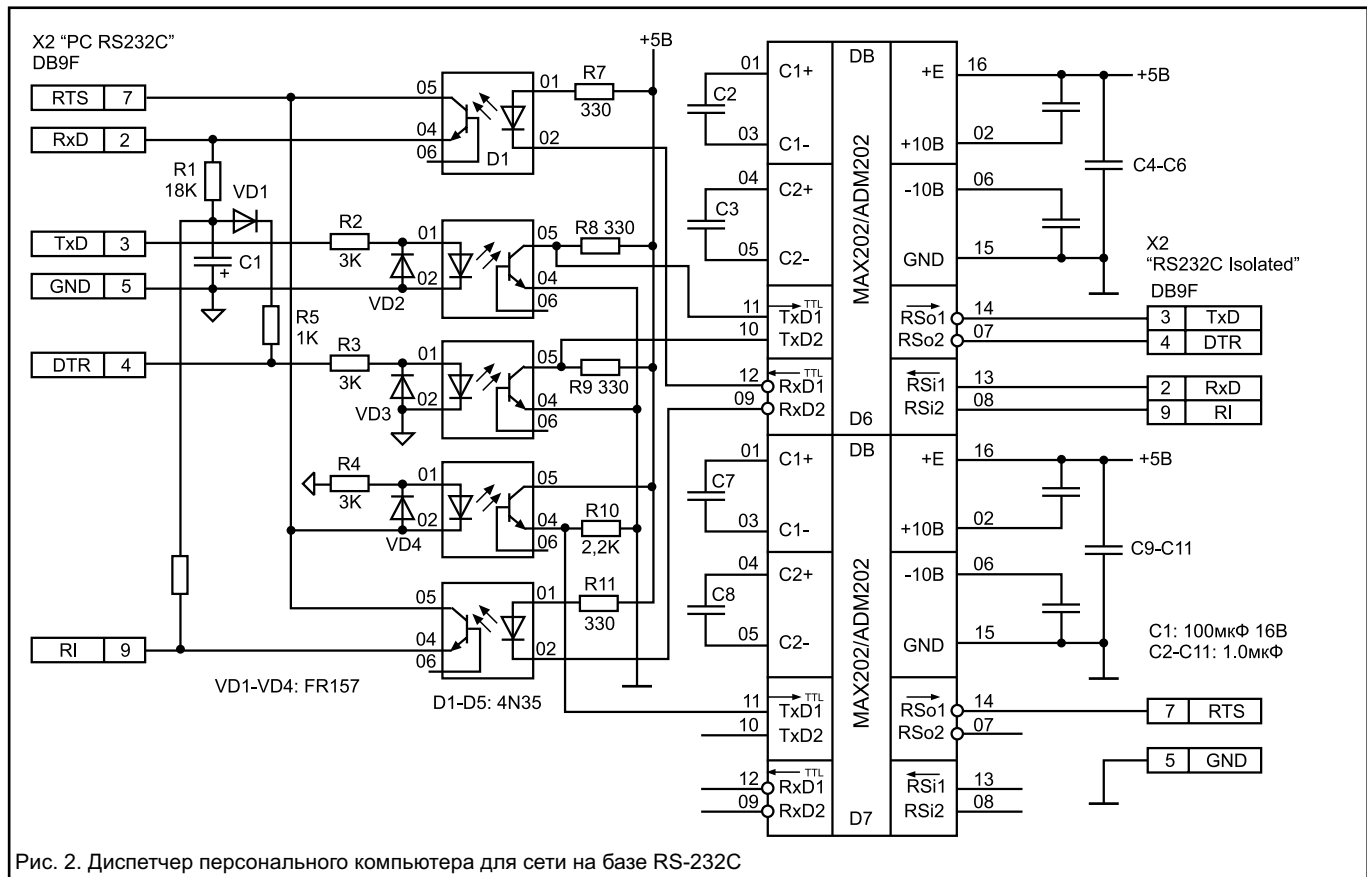


Рис. 2. Диспетчер персонального компьютера для сети на базе RS-232C

зисторов оптронов D1 и D5. Отрицательное напряжение с линии DTR через резистор R5 и диод VD1 создает на конденсаторе C1 отрицательное напряжение питания. Передача данных от компьютера осуществляется по линии TxD через резистор R2 и светодиод оптрона D2. Прием данных осуществляется по линии RxD с эмиттера транзистора оптрона D1. Состояния линий DTR и RTS передаются в выходную часть через оптроны D3 и D4, а состояние линии RI с выходной части передается в персональный компьютер через оптрон D5. Предполагается, что в составе DPC имеется стабилизированный источник питания на напряжение +5 В и рабочий ток менее 30 мА (на схеме не показан). Этот источник осуществляет питание выходных микросхем D6 и D7. При использовании оптронов типа 4N35 напряжение изоляции цепей PC от выходной части составляет более 2,5 кВ. В выходной части в качестве формирователей уровней интерфейса RS-232C использованы самые доступные микросхемы MAX202 (ADM202, MAX232). Возможно, конечно, использовать и другие формирователи уровней фирмы MAXIM (MAX235–MAX249), однако это увеличит стоимость изделия, сложность и площадь печатной платы. Емкость конденсаторов C2–C11 должна быть не менее 1 мкФ (хотя изготовителем микросхем рекомендуется величина 0,1 мкФ). Это обеспечивает повышенную устойчивость работы выходных микросхем в аварийных режимах работы сети, а также при отладке контроллеров. Диоды VD2–VD4 рекомендуется устанавливать для повышения надежности (предотвращения пробоя светодиодов оптронов).

Приведенная схема DPC обеспечивает изоляцию и повторение состояний сигналов порта RS-232C в статике. Однако нужно заметить, что следствием оптической развязки с помощью оптронов является задержка времени переключения всех сигналов на величину более 5 мкс. Кроме того, не смотря на то, что номиналы резисторов входной части оптимальны с точки зрения быстродействия и нагрузки на выходной порт персонального компьютера, максимально допустимая скорость передачи данных через описываемый DPC составляет 28800 бит/с. На больших скоростях передачи резко возрастает количество ошибок.

Как уже отмечалось выше, некоторые CI LAN на базе интерфейса RS-232C могут работать вообще без использования DPC, однако приведенный диспетчер всегда рекомендуется использовать в процессе отладки, чтобы защитить ваш компьютер. Для малоопытных специалистов следует напомнить, что во многих персональных компьютерах земля находится под потенциалом половины сетевого напряжения, и подключение к работающему компьютеру земли

осциллографа или ее обрыв может привести к катастрофическим последствиям. При использовании описанного DPC, отладка LAN и отдельных контроллеров, подключенных к компьютеру, становится безопасной!

На рис. 3 представлена схема DPC для сети на базе протокола RS-485.

Входная часть DPC изображена справа и подключается к PC с помощью разъема X2. Она аналогична входной части описанной выше схемы. Однако в связи с особенностями построения CI LAN на базе интерфейса RS-485, в этом DPC реализованы дополнительные функции программно-аппаратного сброса всех контроллеров сети и отключения выхода диспетчера. Особенностью входной части DPC является то, что интерфейс RS-232C персонального компьютера имеет только две выходные линии RTS и DTR, которые уже используются для питания входной части (как и в схеме, приведенной на рис. 2), при этом их уровни, соответственно, равны RTS=H (High) и DTR=L (Low).

Учитывая то, что, в соответствии с алгоритмом работы CI LAN (описание будет приведено ниже), передатчик PC замыкается на достаточно короткие промежутки времени, отключение выхода передатчика осуществляется при переводе сигнала DTR в состояние H. При этом положительное напряжение с линии DTR через резистор R10 включает светодиод нижней оптопары D3, а коллектор транзистора этой оптопары переводит вход управляемого драйвера DE в состояние L, что, соответственно, переводит выходы передатчика в высокоимпедансное состояние.

Состояние RTS=L и DTR=H приводит к включению светодиода верхней оптопары D3. Коллектор ее транзистора переводит при этом в состояние L вход управляемого стабилизатора Power Unit. Его схема не приведена, однако она тривиальна. Этот стабилизатор может быть собран либо по стандартной схеме включения на KP142EH12A, либо с использованием более мощных стабилизаторов SD1083 (ток до 7,5 А) или SD1084 (до 5 А), имеющих такой же корпус и такую же схему включения. Управляющий вход подключается к выводу 1 стабилизатора. Функции управляемого стабилизатора зависят от назначения и количества станций в CI LAN. Обычно этот стабилизатор делается маломощным на напряжение +5 В (до 200 мА) и используется только для сброса всех контроллеров сети, при этом выходное напряжение поступает на входы внешнего сброса супервизоров питания контроллеров. Однако в некоторых сетях стабилизатор выполняют достаточно мощным (до 3 А) на напряжение около 8 В. При этом выходное напряжение этого стабилизатора, кроме функции сброса, осуществ-

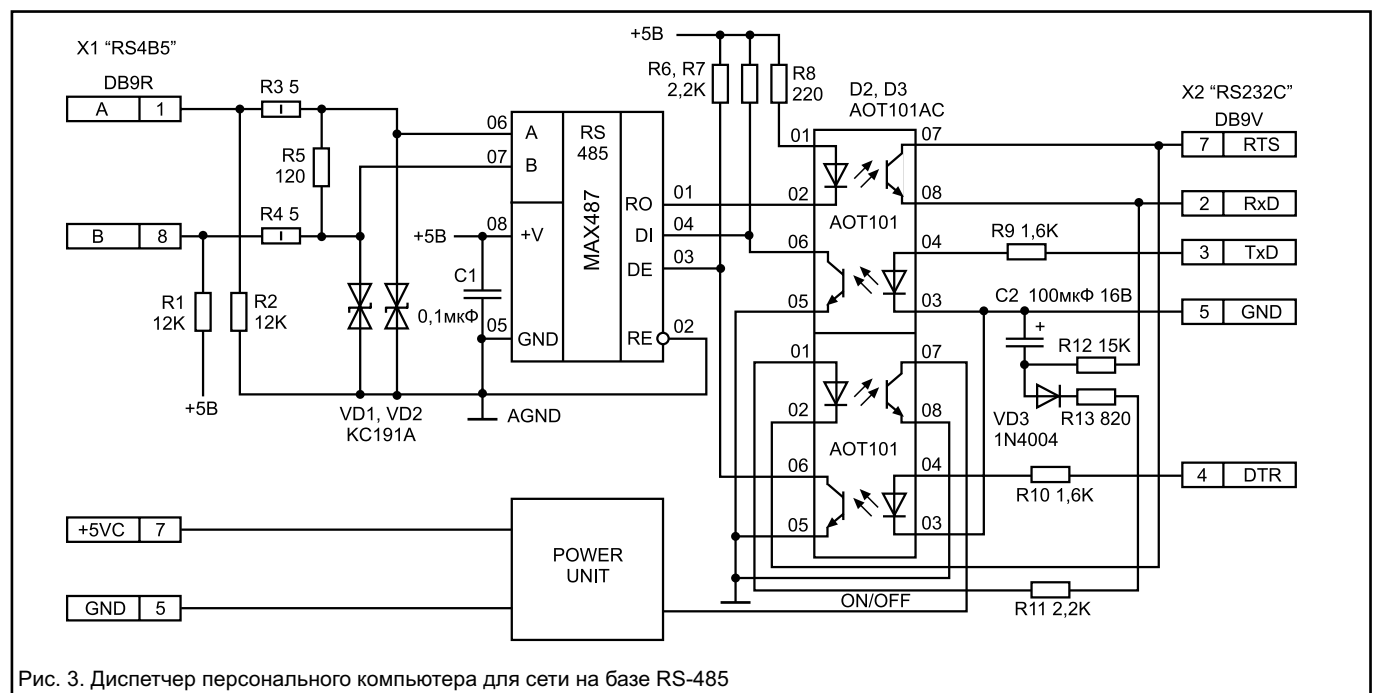


Рис. 3. Диспетчер персонального компьютера для сети на базе RS-485

ляет еще и функции питания всех контроллеров сети. Очевидно, что это возможно только при специальной схемотехнике периферийных станций и их ограниченном количестве.

Выходная часть DPC может быть реализована либо на микросхеме MAX485 (или ее аналогах) – при этом DPC обеспечивает работу до 32 PS в составе сети, либо на микросхеме MAX487 – при этом DPC обеспечивает работу в сети до 128 станций. Естественно, что в этом случае во всех контроллерах должны стоять такие же микросхемы драйверов.

Резистор R5 должен иметь сопротивление 120 Ом. Он устанавливается в RS-485 сетях на двух концах ТМ. Так как согласно топологии CI LAN диспетчер PC всегда устанавливается на одном из концов ТМ, резистор R5 должен быть установлен всегда. Резисторы R1, R2 служат для “привязки” уровней линий “А” (к земле) и “В” (к питанию), для уменьшения времени переходных процессов в случае, когда все передатчики сети закрыты. Резисторы R3, R4 и стабилитроны VD1, VD2 являются простейшей защитой от импульсных помех, возникающих в достаточно протяженных сетях или в сетях, работающих в условиях мощных электромагнитных помех. В особо надежных сетях следует использовать более дорогостоящие и дефицитные ограничительные диоды, способные при превышении на них допустимого напряжения пропускать через себя за несколько наносекунд токи до сотен килоампер. Следует также сказать, что описанные методы защиты линий CI LAN могут использоваться и в сетях на базе интерфейса RS-232C.

### 3. Диспетчеры периферийных станций

#### 3.1. Диспетчер станции CI LAN “SISNET”

Целью разработки CI LAN “SISNET” (Small Information Service NET) являлось создание малых распределенных систем, состоящих из PC и нескольких контроллеров, и при этом обеспечение минимальных аппаратных затрат на ее создание [2–4]. Топология этой сети отличается от стандартной топологии CI LAN, изображенной на рис. 1. В описываемой сети отсутствует диспетчер PC, и сетевая среда (ТМ) непосредственно подключается к интерфейсу RS-232C персонального компьютера. Это накладывает ограничение и на количество станций (не более 16), и на общую длину сетевой среды (до 20 м). Второй особенностью этой сети является то, что диспетчер станции не содержит специализированных микросхем драйверов RS-232C (например, MAX232 или аналогичных). В качестве сетевой среды используются стандартные 9-проводные компьютерные кабели длиной 1 или 1,2 м, снабженные двумя одинаковыми разъемами DB9. Диспетчер станции CI LAN “SISNET” представлен на рис. 4. На схеме показан только один сетевой разъем X1. На самом деле каждый контроллер имеет по два разъема, соединенных параллельно. Нарастивание сетевой среды осуществляется последовательным соединением контроллеров.

В описываемой сети используются шесть интерфейсных линий RS-232C: линия TxD используется для передачи данных от PC к станциям; линия RxD используется для приема данных от станций к PC; линия RTS используется как источник положительного напряжения для питания входной части MGT; линия DTR используется для генерации сигнала сброса (RST) всех контроллеров сети, а также для создания через резистор R1 и диод VD1 отрицательного напряжения на конденсаторе C1; на

линии RI генерируется сигнал занятости сети Busy; линия Gnd – общий провод сетевой среды.

Резистор R1 необходим для снижения пиковых зарядных токов по линии DTR. Номиналы резисторов R2–R5 подобраны так, что при параллельном подключении до 16 MGT к выходу интерфейса RS-232C персонального компьютера обеспечивается максимально возможная нагрузка на сигнальные линии. Для оптической изоляции применены оптроны AOT1-01AC. Они имеют следующие преимущества: меньший ток срабатывания и время задержки переключения, два оптрона в корпусе. С другой стороны, напряжение изоляции у них составляет более 500 В. Особенностью описываемой схемы является наличие схем формирования “сквозного” (для всех контроллеров) сигнала занятости и общего сброса сети. Общий сброс всех контроллеров сети происходит при кратковременном переводе линии DTR из состояния L (нормальный режим) в состояние H (сброс). При этом положительное напряжение через резистор R3 включает верхний светодиод оптопары D2, а соответствующий транзистор, открываясь, генерирует положительный импульс сброса микроконтроллера на резисторе R10. Сигнал занятости сети генерируется контроллером, который собирается начать передачу. При этом он опрашивает свой вход Int0. Если вход имеет потенциал H, то сеть свободна, и контроллер переводит свой выход Busy в состояние L. При этом включается нижний светодиод и соответствующий транзистор оптопары D3, на линии RI формируется потенциал H, который уведомляет PC о начале цикла передачи одним из контроллеров. Кроме того, включаются верхние оптопары всех контроллеров, при этом на входы Int0 всех контроллеров поступает низкий потенциал L, свидетельствующий о занятости сети. По окончании цикла передачи, передающий контроллер переводит свой выход Busy в состояние H, снимая сигнал занятости линии. Описанный контроллер обеспечивает скорость передачи до 28800 бит/с. Алгоритм работы и фрагменты программ сети “SISNET” будут приведены в следующих разделах.

#### 3.2. Диспетчер станции CI LAN “MISNET”

На рис. 5 показана схема диспетчера станции CI LAN на базе интерфейса RS-485. Эта схема аналогична выходной части

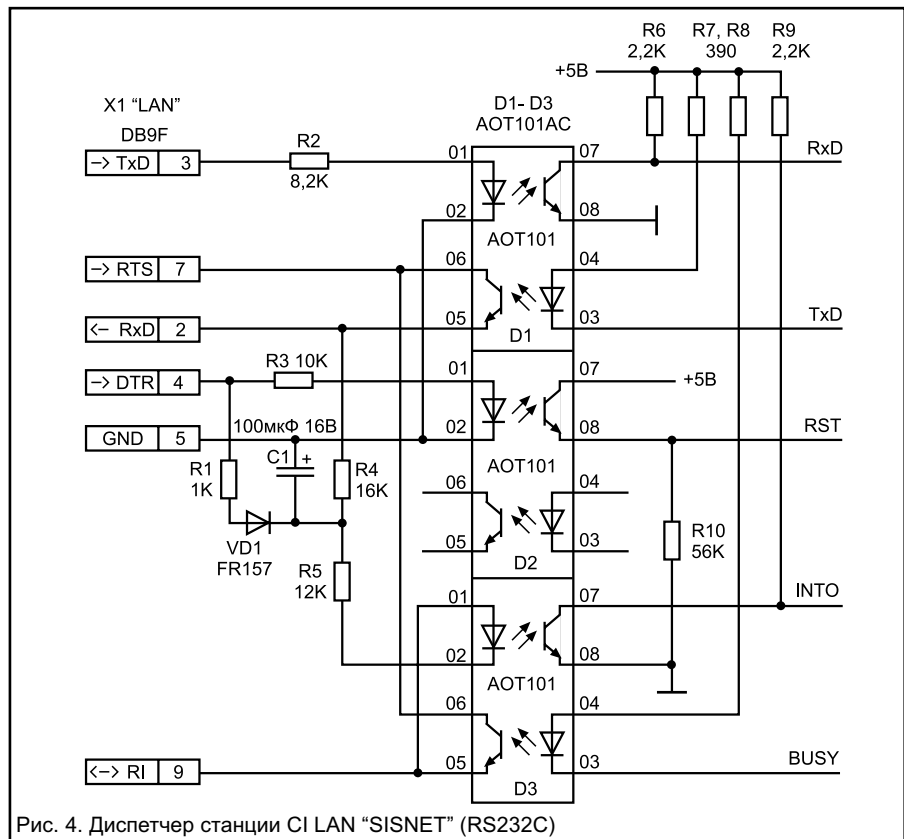


Рис. 4. Диспетчер станции CI LAN “SISNET” (RS232C)

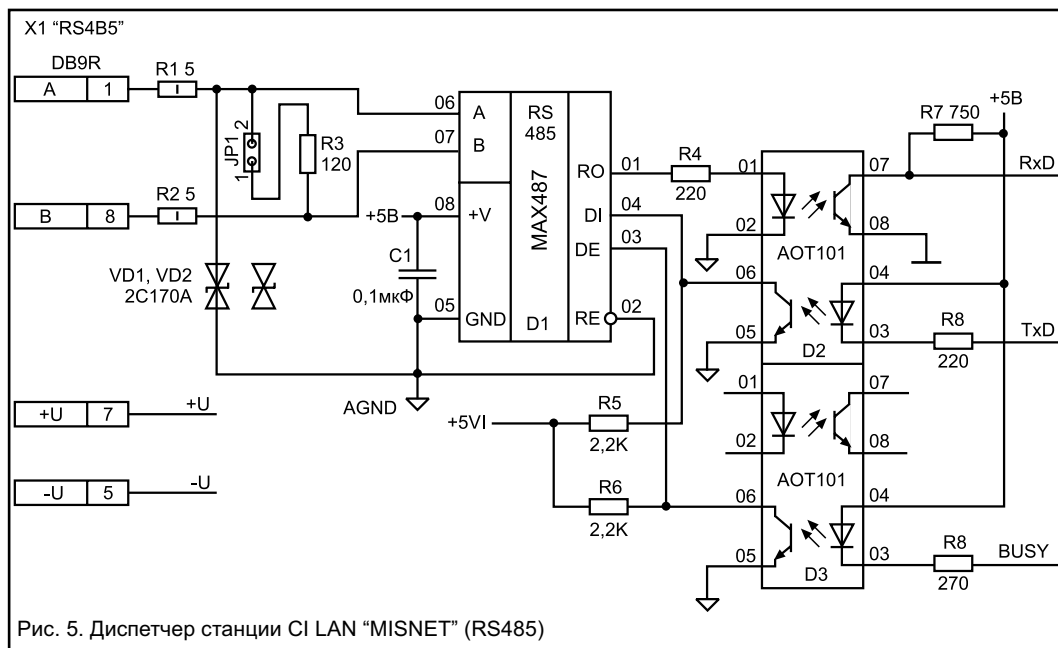


Рис. 5. Диспетчер станции CI LAN "MISNET" (RS485)

схемы, приведенной на рис. 3. Она используется во многих сетях на базе интерфейса RS-485, в том числе и в CI LAN "MISNET" (Middle Information Service NET), целью разработки которой являлось создание средних (до 32 станций) и больших (до 128 станций) CI LAN [5–8].

Приведенная схема имеет защиту входных цепей, аналогичную показанной на рис. 3. Во входные цепи введена перемычка JP1, которая устанавливается на самом последнем контроллере для согласования сети. Отключение выходов передатчиков сети осуществляется переводом вывода Busu микроконтроллера в состояние L. При этом включается нижняя оптопара D3 и вывод DE приемопередатчика D1 переводится в состояние L, что соответственно, переводит выходы передатчика в высокоимпедансное состояние.

### 3.3. Комбинированный диспетчер станции CI LAN

В заключение этого раздела рассмотрим вариант принципиальной схемы более сложного комбинированного диспет-

чера контроллера (рис. 6). Такой диспетчер может быть применен в CI LAN на базе интерфейса RS-485 для подключения к сети современных измерительных приборов и промышленного оборудования, оснащенных интерфейсом RS-232C. Другим вариантом использования приведенного диспетчера может быть создание многоуровневых сетей или сетей с комбинированным интерфейсом.

Сетевая часть диспетчера станции (слева) показана без разъемов с элементом защиты. При необходимости она может быть оснащена защитными или ограничительными диодами и оптической изоляцией от сетевой среды, как это было показано в предыдущих схемах. Для читателя наибольший интерес, в данном случае, представляет интерфейс с микроконтроллером. Выходной сигнал RxD от интерфейса RS-232C с вывода 12 микросхемы D1 (драйвер RS-232C) поступает на первый вход элемента ИЛИ (D3.1), на второй вход которого поступает разрешающий сигнал приема I232\_On (активный L). Выход этого элемента ИЛИ соединен с одним из входов элемента И (D4.1), на второй вход которого поступает RxD сигнал с выхода 01 микросхемы D2 (драйвер RS-485). Этот выход может быть открыт при подаче на вход 02 микросхемы D2 разрешающего сигнала приема I485\_On (активный L) или переведен в высокоимпедансное состояние. При этом через резистор R4 формируется H уровень (разрешающий) на втором входе элемента И. Таким образом, при различных комбинациях управляющих сигналов микроконтроллера может быть открыт либо один из входных каналов, либо оба сразу.

Выходной сигнал микроконтроллера TxD поступает на вход 04 микросхемы D2 и один из входов второго элемента ИЛИ (D3.2), на второй вход которого поступает разрешающий сигнал передачи O232\_On (активный L), а выход соединен со входом 11 (TxD) микросхемы D1. На вход 03 микросхемы D3 поступает разрешающий сигнал передачи O485\_On (активный L). Таким образом, оба передатчика могут открываться или закрываться в любых комбинациях.

Естественно, что отслеживать конфликты при одновременном приеме информации из двух источников, а также управлять диспетчером должно программное обеспечение микроконтроллера.

В заключение хочется сказать, что в этом разделе были приведены только несколько наиболее интересных схем из возможного разнообразия, однако их рассмотрение дает возможность даже начинающему специалисту самостоятельно разработать другие варианты диспетчеров станций.

Олег Николайчук,  
onnic@ch.moldpac.md

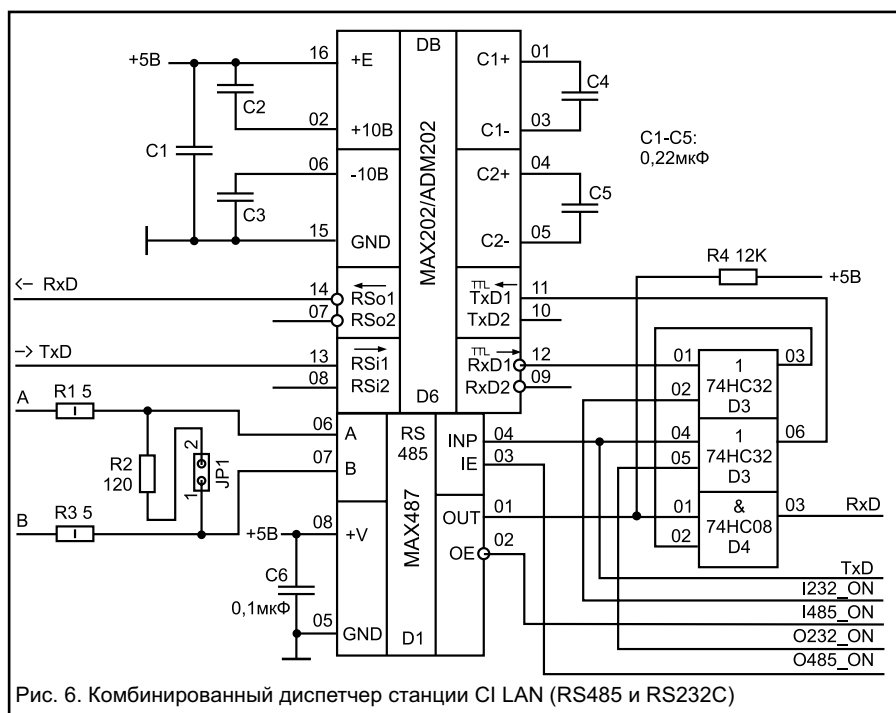


Рис. 6. Комбинированный диспетчер станции CI LAN (RS485 и RS232C)