

# Применение локальных сетей передачи информации в вычислительных комплексах малогабаритных устройств

Олег Шатров (Челябинская обл.)

В статье рассмотрены наиболее важные вопросы применения локальных сетей в вычислительных комплексах малогабаритных устройств. Описаны параметры сетей на физическом уровне. Обсуждаются преимущества и недостатки стандартов, применяемых для построения сетей. Рассмотрены направления оптимизации стандарта и приведён вариант реализации.

## ВВЕДЕНИЕ

Локальные вычислительные сети (ЛВС), используемые в вычислительных комплексах малогабаритных устройств, должны обеспечивать функционирование в реальном времени, с быстрой реакцией на команду или внешнее воздействие в условиях наличия помех и «живучесть» при отказах отдельных модулей. Одновременно предъявляются жёсткие требования к габаритам и потребляемой мощности. В таких комплексах работают устройства, выполняющие различные функции и оказывающие влияние друг на друга, которое усиливается при близком взаимном расположении силовых и измерительных модулей. Для уменьшения взаимных помех и повышения надёжности работы необходима гальваническая развязка функциональных устройств и отдельных приборов, а также экранирование. Такие условия работы предъявляют к ЛВС требования по гальванической развязке, хорошей помехозащищённости и небольшому уровню собственных помех, обеспечивая при этом высокую пропускную

способность для работы в реальном времени.

В качестве ЛВС в бортовых вычислительных комплексах применяются сети, построенные на основе ГОСТ 26765.52-87 [1], ГОСТ 23675-79 [2], ГОСТ 18145-81 [3]. Зарубежным аналогом ГОСТа [1] является стандарт MIL-STD-1553B [5], а ГОСТам [2, 3] в части передачи информации по симметричным линиям соответствует стандарт RS-485 [6]. Достаточно полное описание приёмопередающих трактов указанных выше стандартов приведено в статье [8]. Часто указанные стандарты используются в системах одновременно с применением трансляторов для перехода между различными ЛВС и достижения преимуществ, предоставляемых отдельными стандартами. Проблемы развития и стандартизации ЛВС показаны в статье [7].

## ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ЛВС НА ОСНОВЕ RS-485 и ГОСТ 26765.52-87

Стандарт RS-485 позволяет создавать ЛВС со скоростью передачи информации до 10 Мбит/с в зависимости от длины линии. Для передачи информации используется полярный код без возврата к нулю. Этот код не является самосинхронизирующимся и требует передачи дополнительных интервалов синхронизации (стартовые биты). Как прави-

ло, используется байтовая передача информации, однако можно передавать и меньшее число бит. Стандарт описывает параметры ЛВС на физическом уровне (напряжения, токи, требования к устройствам сопряжения и линии передачи).

Интерфейсные платы, основанные на этом стандарте, выпускаются многими производителями в различном исполнении и широко применяются в промышленности. Необходим только один источник питания (3...5 В). В статьях [4, 8] обосновывается необходимость более широкого применения RS-485 в бортовых ЛВС. Однако необходимо отметить, что отсутствует единый стандартизированный протокол передачи, поэтому возникают трудности при сопряжении устройств различных производителей.

Кроме того, код, используемый в RS-485, неоптимален с точки зрения эксплуатационных параметров ЛВС. В нём нет признака передачи служебной информации, поэтому для её формирования необходимо увеличивать число передаваемых байтов, что значительно увеличивает время передачи сообщения, а значит, и время реакции системы на внешнее воздействие.

Код, используемый для передачи информации, затрудняет гальваническую развязку устройств и выделение синхросигнала. Рассмотрим типичный частотный спектр данного кода для скорости передачи информации 1 Мбод, приведённый на рисунке 1.

Из него видно, что основная энергия сигнала сосредоточена в полосе частот от 0 до частоты, период которой равен длительности битового интервала. Спектр содержит постоянную составляющую, что делает невозможным использование трансформаторов для гальванической развязки приборов, подключаемых к ЛВС. Для передачи информации используются уровни 2...3 В. Мощность

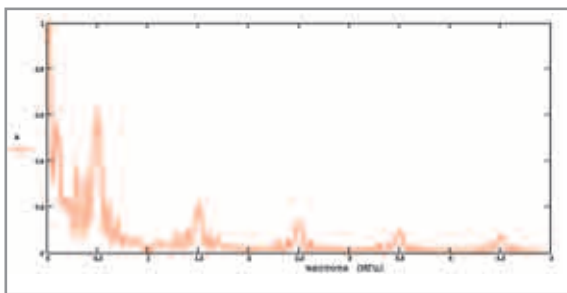


Рис. 1. Типовой спектр сигнала стандарта RS-485

сигнала, выдаваемая передатчиком на линию в импульсе, – не более 0,15 Вт. Интерфейсные микросхемы имеют ограничение по входным импульсным помехам до 16...20 В. При большем уровне помех необходимо использовать дополнительную защиту. Рекомендации по применению RS-485 приведены в работе [6]. Можно добавить, что широко применяемый в автомобильной промышленности стандарт CAN на физическом уровне практически аналогичен RS-485 и ему присущи те же недостатки, хотя CAN имеет хорошо проработанный сложный протокол передачи информации и исправления ошибок.

Стандарт RS-232 также имеет подобные недостатки, но значительно меньшую помехозащищённость и скорость передачи информации.

В ЛВС, созданных на основе ГОСТ 26765.52-87 (MIL-STD-1553), используется фазоманипулированный двухуровневый код, который является самосинхронизирующимся на каждом битовом интервале. Часто данный код называют Манчестер-II, и он широко применяется в сетях Ethernet. Дополнительных битов для осуществления синхронизации не требуется. Это позволяет на порядок понизить требования к точности несущей частоты по сравнению с RS-485, где синхронизация информации осуществляется в начале и в конце передачи байта (стартовый и стоповый биты). Скорость передачи информации – 1 Мбод. Типовой частотный спектр приведён на рисунке 2.

Энергетический спектр имеет более широкую полосу частот. Скорость изменения сигнала в линии в два раза превышает скорость передачи информации, что также в два раза больше, чем у RS-485. В спектре отсутствует постоянная составляющая, что позволяет передавать сигнал через трансформатор для выполнения гальванической развязки. Мощность сигнала, выдаваемая передатчиком в импульсе, – более 2 Вт, что позволяет работать на достаточно длинные линии. Требуется отдельный источник для питания выходных каскадов. Более подробно со стандартом можно ознакомиться в работах [1, 5, 9, 10]. ГОСТ 26765.52-87 имеет хорошо проработанный надёжный протокол обмена информацией. В статье [4] рекомендуется и в дальнейшем использовать данный протокол обмена информацией для

модернизированных интерфейсов.

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТАНДАРТОВ

ЛВС, построенные на основе ГОСТ 26765.52-87, обеспечивают гальваническую развязку через трансформатор и легко согласуются с линией передачи информации. Дополнительно трансформатор выполняет функцию фильтра низких частот для дифференциальных помех, лежащих вне спектра сигнала, осуществляет симметрирование линии и хорошо подавляет синфазные помехи. Это позволяет работать при значительно большем уровне помех в линии, чем в случае с RS-485, где большое напряжение может вызвать повреждение микросхем или исказить информацию. Выигрыш в помехоустойчивости определяется коэффициентом подавления синфазных помех импульсного трансформатора, его небольшой проходной ёмкостью и хорошей симметричностью. Выпускаются специальные сигнальные трансформаторы с секционными обмотками для уменьшения паразитных ёмкостей и увеличения допустимых рабочих напряжений. Стандарт RS-485 значительно проигрывает в помехоустойчивости и возможности осуществления гальванической развязки (для этого приходится применять специализированные микросхемы с оптронами и дополнительным источником питания, что усложняет схему, снижает надёжность и создаёт дополнительные помехи в системе). Дополнительный импульсный источник питания является источником помех, а проходные паразитные ёмкости его трансформатора имеют значительную величину и отрицательно влияют на помехоустойчивость.

Большой уровень сигнала в линии, используемый в ГОСТ 26765.52-87, обеспечивает хорошее соотношение сигнал/шум, возможность работы на линии связи длиной в несколько сотен метров. Это значительно превышает максимальную дальность работы RS-485 и требует большой потребляемой мощности, что является избыточным в случае небольших ЛВС, а также может отрицательно влиять на нормальную работу других систем.

Код, применяемый в ГОСТ 26765.52-87, обеспечивает подстрой-

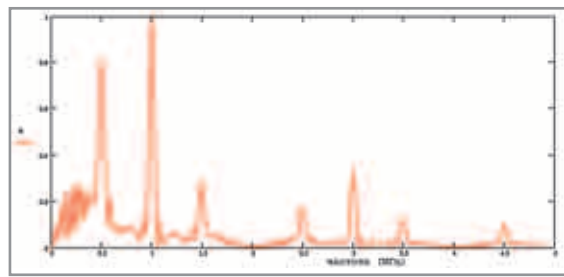


Рис. 2. Типовой спектр сигнала стандарта MIL-STD-1553

ку частоты на каждом битовом интервале, что на порядок лучше, чем у RS-485. В данном случае значительно снижаются требования к задающим тактовым генераторам и повышается надёжность приёма информации в условиях помех.

ЛВС, построенные на основе ГОСТ 26765.52-87, обладают большей надёжностью по сравнению с RS-485, особенно в условиях воздействия сильных помех, и значительно снижают взаимное влияние между отдельными устройствами.

### ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ЛВС ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ МАЛОГАБАРИТНЫХ УСТРОЙСТВ

При небольших габаритах аппарата излишнее высокое напряжение в линии создаёт помехи другим системам. Необходим оптимальный уровень сигнала в линии. Малые размеры требуют повышенной помехоустойчивости приёмников сигнала из-за влияния близкорасположенных соседей. Длина таких сетей – не более 10...20 м (суммарное затухание в линии менее 10 дБ), что позволяет понизить напряжение в линии по сравнению с ГОСТ 26765.52-87 до уровней напряжений, используемых в RS-485 (2...3 В при чувствительности входных компараторов 200...300 мВ). Это даёт возможность упростить приёмопередающее устройство и понизить импульсную передаваемую мощность до 0,15 Вт. Схема интерфейсного модуля для применения в небольших ЛВС приведена на рисунке 3.

Интерфейсный модуль состоит из микросхемы D ADM485, резистора R номиналом 10 Ом и импульсного трансформатора T марки ТИ4 с коэффициентом трансформации 1. Модуль выдаёт в линию  $\pm 2...3$  В, имеет входной гистерезис 250 мВ и запас по входному напряжению до 20 В, что позволяет использовать готовое контрольно-испытательное оборудова-

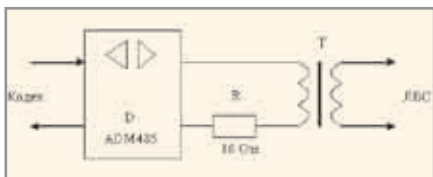


Рис. 3. Схема интерфейсного модуля

ние и работать с устройствами, отвечающими требованиям ГОСТ 26765.52-87. Помимо основного канала ЛВС, для испытательных целей часто используется технологический канал, по которому осуществляется регулировка и съём дополнительной информации при проведении испытаний. При использовании одинаковых протоколов можно либо объединять оба канала на время проведения проверок, либо использовать технологический канал в качестве резервного для повышения надёжности.

Поскольку рассматриваемые ЛВС имеют длину до 10 м, возможно применение согласующего кабеля с ненормированным волновым сопротивлением. При типовой задержке сигнала в линии 5 нс/м суммарная задержка сигнала с отражением от конца линии и возвратом к источнику сигнала равна:

$$5 \text{ нс/м} \times 20 \text{ м} = 100 \text{ нс.}$$

Время переходных процессов в линии не превышает длительность фронта сигнала (100...200 нс). Использование концевых резисторов на концах кабеля обязательно (с волновым сопротивлением, соответствующим типу кабеля), но их номинал может быть подобран с меньшей точностью (до ±5%), чем требуется в ГОСТ 26765.52-87. Кабели с нормированным волновым сопротивлением имеют большой диаметр и большой радиус изгиба, что значительно увеличивает длину линии даже при близком расположении блоков. Используя тонкие кабели (например, МГТФЭ 2 × 0,12), при малых размерах линии можно значительно улучшить массогабаритные характеристики без значительного ухудшения качества передаваемых сигналов.

Возможно увеличение скорости передачи информации выше 10 Мбод при реализации кодирующих/декодирующих устройств в программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС). ПЛИС позволяют в одном корпусе реализовать несколько устройств, работающих по различным ЛВС.

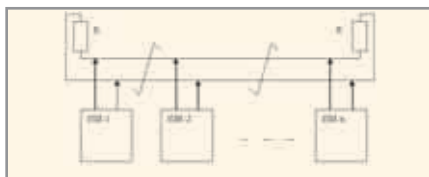


Рис. 4. Пример построения ЛВС

### ВАРИАНТ ПОСТРОЕНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ МАЛОГО АППАРАТА

Напряжение в линии понижено до 3 В. Питание ППУ от источника 3...5 В. Ток через трансформатор в импульсе – около 50 мА при работе на линию с волновым сопротивлением 100...120 Ом.

Кабель с нормированным волновым сопротивлением (КВСФ-75) заменён на провод МГТФЭ-2 × 0,12 либо витую пару в экране, имеющую волновое сопротивление 100...140 Ом. Желательно использовать экранированный кабель, что позволяет уменьшить импульсные электрические помехи, которые плохо подавляются трансформатором и дифференциальными входными цепями приёмника из-за паразитных входных ёмкостей и могут превысить допустимый входной предел для микросхемы.

Используется протокол ГОСТ 26765.52-87, что обеспечивает совместимость устройств и упрощает модифицирование системы.

Пример построения ЛВС приведён на рисунке 4.

Интерфейсные модули ИМ1...ИМn подключаются к линии напрямую без защитных резисторов, в отличие от рекомендаций ГОСТ 26765.52-87. Упрощённое подключение к линии без последовательных защитных резисторов позволяет повысить уровень сигнала, выдаваемого в линию, и уменьшить напряжение питания интерфейсного модуля (уровни сигналов будут аналогичны стандарту RS-485). Номинал волновых сопротивлений на концах линии зависит от типа применённого кабеля и обычно находится в диапазоне 100...120 Ом.

### Выводы

1. Применение RS-485 ограничено ЛВС с низкой стоимостью, без требований к надёжности и без гальванической развязки. Для ЛВС с повышенными требованиями к надёжности и помехоустойчивости необходимо применять сети на основе ГОСТ 26765.52-87.

2. Понижение уровней сигнала и, как следствие, напряжения питания позволяет создать ЛВС на основе ГОСТ 26765.52-87 с высокими требованиями по надёжности, минимальными габаритами и потребляемой мощностью, минимальной номенклатурой источников питания. При этом сохраняется возможность работы с устройствами, соответствующими ГОСТу на линиях длиной до 10...50 м.

3. Упрощение требований к кабельной сети в малых ЛВС позволяет отказаться от кабеля с нормированным волновым сопротивлением и применить экранированные витые пары, что ведёт к уменьшению габаритов, массы и стоимости без существенного ухудшения качественных показателей.

4. Применение трансформатора обеспечивает повышенную помехоустойчивость и надёжность работы ЛВС в условиях воздействия сильных помех. Трансформатор позволяет реализовать качественную гальваническую развязку с малыми проходными ёмкостями и хорошим подавлением синфазных помех, что превосходит стандартную реализацию гальванически развязанного канала RS-485 на оптронах и с дополнительным источником питания. Хорошее подавление синфазных и дифференциальных помех является большим преимуществом ГОСТ26765.52-87 по сравнению с RS-485. Гальваническая развязка в данном случае выполняется с помощью одного трансформатора (в отличие о RS-485), что значительно увеличивает надёжность ЛВС при меньшей стоимости подключения.

5. Стандарт RS-485 требует использования задающих генераторов с точностями на порядок выше, что приводит к худшей надёжности и помехоустойчивости.

6. В описанной реализации существует возможность совмещения штатного и технологического интерфейсов.

7. Использование стандартного интерфейса на основе ГОСТ26765.52-87 позволяет модернизировать систему, используя готовые приборы. При проведении испытаний возможно использование оборудования, полностью отвечающего требованиям ГОСТ26765.52-87.

8. При соизмеримых габаритах и потребляемой мощности устройства



на основе ГОСТ 26765.52-87 (с учётом указанных выше замечаний) обеспечивают более надёжную и помехоустойчивую ЛВС по сравнению с RS-485.

На основе всего вышесказанного можно сформулировать следующие предложения по созданию редакции ГОСТ 26765.52-87 для использования в малых бортовых ЛВС (длиной до 10 м):

1. Понизить уровни сигнала в линии передачи информации до уровней RS-485 – выходное напряжение передатчика установить на уровне 1,5...3 В на нагрузке 50 Ом.
2. Упростить подключение клинии, отказавшись от защитных резисторов.
3. Упростить требования к кабельной сети, допуская использование кабеля с ненормируемым волновым сопротивлением; при этом в пределах одной ЛВС должен применяться один тип кабеля. Кабель должен быть витым и экранированным.
4. Предусмотреть возможность повышения скорости передачи информации при соответствующем изменении параметров линии.

Все перечисленные пункты касаются только линии передачи инфор-

мации, параметров сигналов в линии и способов подключения к ней, не затрагивая протокол. В результате получим канал обмена информацией, по простоте организации и требуемым затратам соизмеримый с RS-485 без гальванической развязки, но значительно превосходящий его по надёжности и помехоустойчивости.

Основные преимущества предложенной редакции ГОСТ 26765.52-87:

- высокая помехоустойчивость;
- простая и надёжная гальваническая развязка с помощью трансформатора;
- низкие требования к стабильности частоты передачи;
- низкая потребляемая мощность;
- простой и надёжный протокол обмена;
- преимущество на уровне протокола и возможность работы в сетях, построенных на основе ГОСТ 26765.52-87.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Интерфейс магистральный последовательной системы электронных модулей. Общие требования. ГОСТ 26765.52-87.

2. Цепи стыка С2 системы передачи данных. Электрические параметры. ГОСТ 23675-79.
3. Цепи на стыке С2 аппаратуры передачи данных с оконечным оборудованием при последовательном вводе/выводе. Номенклатура и технические требования. ГОСТ 18145-81.
4. Гобчанский О. Проблемы создания бортовых вычислительных комплексов малых космических аппаратов. СТА. 2001. № 4. С. 28.
5. Хвоц С., Амаду Х. Промышленные сети на базе стандарта MIL-STD-1553 В. СТА. 1999. № 1. С. 42.
6. Локотков А. Интерфейсы последовательной передачи данных. Стандарты EIA RS-422A/RS-485. СТА. 1997. № 3. С. 110.
7. Копошилко И., Федосеев Е., Павлов А. Организация высокоинтеллектуальных средств информационного обмена бортового применения, их унификация и стандартизация. Проблемы и достижения. Мир Авионики. 2000. № 4. С. 24.
8. Микросхемы приёмопередатчиков для основных типов мультиплексных каналов информационного обмена. Компоненты и технологии. 2002. № 5. С. 68.
9. www.elcus.ru.
10. www.milaero.com.






# ПРИБОРОСТРОЕНИЕ ЭЛЕКТРОНИКА. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА - 2006

V межрегиональная специализированная выставка

## 14 - 16 НОЯБРЯ 2006



**Основные разделы выставки:**

- Передовые технологии, оборудование, материалы
- Датчики, системы идентификации, первичные преобразователи, электроприводы
- Контрольно-измерительные и диагностические приборы
- Электронные устройства, компоненты, элементная база
- Метрология, весоизмерительное оборудование
- Электротехническое оборудование общепромышленного применения
- Силовая электроника и микроэлектроника
- Специализированная литература

**Место проведения:**  
 КОСК «Россия» г. Екатеринбург ул. Высоцкого, 14  
 Тел/факс: (343) 347-45-05, 347-18-32  
 e-mail: [vystavka@kosk.ru](mailto:vystavka@kosk.ru)  
<http://www.kosk.ru>