

Микросхемы приемопередатчиков для основных типов мультиплексных каналов информационного обмена

В № 2'2001 нашего журнала была опубликована статья «Цифро-аналоговая ИС для приемопередатчика мультиплексной шины». Развивая тему, предлагаем вашему вниманию обзор схем приемопередатчиков для наиболее распространенных на сегодняшний день интерфейсов мультиплексных каналов межмодульного обмена информацией.

Гришин Вячеслав,
Еремеев Петр,
Зубов Николай,
Муратов Сергей,
Шелепин Николай

shelepin@techcen.zgrad.su

1. Область применения

В настоящее время в мире широко применяются системы автоматического управления (САУ) реального времени, которые изначально создавались для автоматических производств, а на сегодняшний день распространились в область управления бортовым оборудованием различных движущихся средств, в том числе и космическими аппаратами. Применяются также системы сбора и обработки информации (ССОИ), которые активно используются в различных областях, например в биомедицинской технике.

В основе любой САУ или ССОИ лежит обработка сигналов от источников информации, на основе которых возможно принятие решения о сигналах управления. При этом перед разработчиком таких систем встает вопрос использования стандартных протоколов и интерфейсов передачи данных.

При выборе протокола и интерфейса для использования в вашей системе нужно определить следующие параметры сети передачи данных:

- геометрические размеры сети;

- обеспечение гарантированного времени доставки сообщений;
- скорость передачи данных;
- достоверность и надежность передачи информации;
- удобство работы с выбранным стандартом в плане стандартизации решений и унификации оборудования;
- оптимальное соотношение возможностей и цены.

В любом модуле, осуществляющем обмен информацией (данными), существует электронный блок, отвечающий за связь модуля через мультиплексный канал с системой (обычно он называется терминалом). В его составе можно выделить два обязательных блока:

- аналоговый приемопередатчик, который осуществляет предварительную аналоговую обработку данных с целью обеспечения интерфейса цифровых логических схем терминала и шины данных;
- контроллер протокола, который организует обмен данными в соответствии с выбранным протоколом и выполняет кодирование-декодирование сигналов, определение правильности кодирования выбранным кодом входящих сообщений, обработку и распознавание слов, адреса и сообщений, а также связь с основной частью модуля.

Рассмотрим основные характеристики и методы реализации перечисленных интерфейсов передачи данных: RS-485, LVDS, CAN, MIL-STD-1553 (ему соответствует в нашей стране ГОСТ 26765.52-87). Приведенные интерфейсы являются наиболее распространенными.

2. Интерфейс RS-485

Данный интерфейс RS-485 (TIA/EIA 485) имеет магистральную (шинную) организацию. В нем для дифференциальной передачи сигнала используется пара проводов, присутствует также провод земли. Типичная двухпроводная реализация RS-485 приведена на рис. 1. Возможна и четырехпроводная реализация RS-485 (см. рис. 2 [1]). На приемном конце линии вычисляется разность между сигналами. При дифференциальной передаче удается в значительной мере подавить помеху, поэтому основным достоинством дифференциального интерфейса RS-485 является высокая помехоустойчивость. Недосток RS-485, как и про-

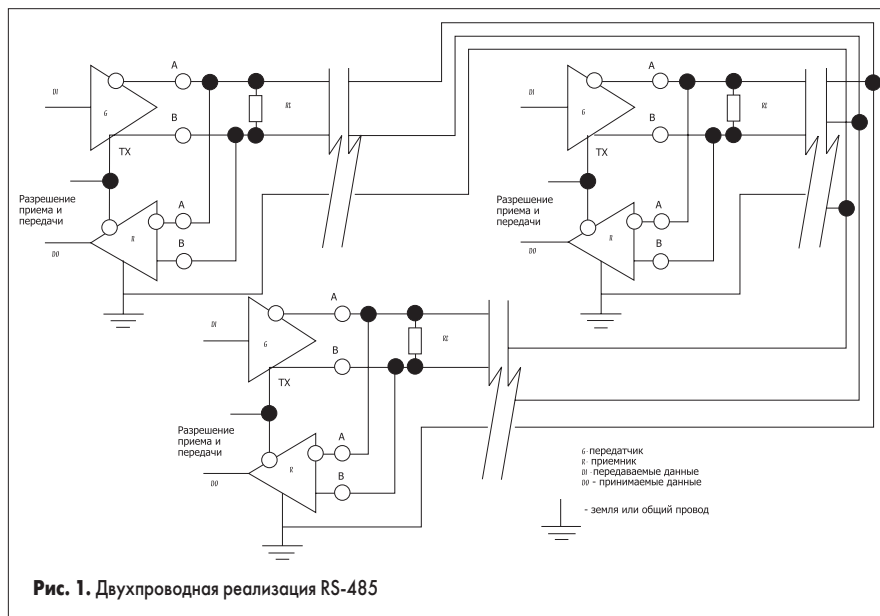


Рис. 1. Двухпроводная реализация RS-485

чих дифференциальных интерфейсов, — относительно высокая стоимость, а также сложности при выполнении парных согласованных каскадов передатчиков и приемников. Область применения RS-485 в координатах «длина кабеля — скорость передачи данных» показана на рис. 3. Данный интерфейс может быть реализован в дуплексном режиме, с четырьмя информационными проводами и в полудуплексном режиме — с двумя.

Основные требования интерфейса RS-485 приведены в табл. 1 [2].

Рассмотрим микросхемы приемопередатчиков для интерфейса RS-485, изготавливаемые некоторыми производителями.

Микросхемы фирмы Analog Devices для RS-485 одни из наиболее распространенных в нашей стране: ADM485, ADM3491, ADM3485E, ADM1485, ADM483, ADM488, ADM489. Все эти микросхемы разработаны по смешанной технологии БиКМОП. В них совмещены следующие свойства: низкий ток потребления, свойственный КМОП-технологии, и быстрое переключение сигналов, свойственное биполярной технологии. По скорости микросхемы этой фирмы делятся на пять типов, приведенных в табл. 2. Микросхемы с буквой E в конце — это ИС с повышенной защитой против электростатических выбросов и высокочастотных электрических и электромагнитных помех. Детальное описание внутренней структуры фирма не представляет. Все микросхемы удовлетворяют условиям, приведенным в табл. 1.

Микросхема приемопередатчика для RS-485 ISO485 фирмы Burr-Brown является устройством с гальванической изоляцией конденсаторного типа. Ее структурная схема приведена на рис. 4, где также показаны номера выводов и их названия. Функционирование этого приемопередатчика описано в табл. 3.

Таблица 2

Максимально возможная скорость передачи данной ИС	Название ИС
250 кбит/с	ADM483E, ADM488/ADM489
5 Мбит/с	ADM485
20 Мбит/с	ADM3485E, ADM3491
30 Мбит/с	ADM1485

Таблица 1

Определение	Характеристика RS-485
Тип передачи	Дифференциальный
Максимальная длина кабеля	4000 футов – около 1200 метров
Минимальное выходное напряжение передатчика	± 1.5 В
Нагрузочное сопротивление передатчика	54 Ом
Входное сопротивление приемника	Минимум 12 кОм
Чувствительность по входам приемника	± 200 мВ
Диапазон входных напряжений приемника	от -7 В до +12 В
Количество приемников и передатчиков на линии	32/32

Использовать такую конденсаторную развязку при передаче импульсов можно только в случае, когда скорость изменения напряжения между землями передающей и приемной частей в несколько раз ниже фронтов передаваемых импульсов, что для условий применения изолирующих интерфейсов встречается редко.

Для изоляции используются специальные высоковольтные керамические конденсаторы емкостью 0,4 пФ, что уже создает защиту от относительно медленно меняющихся напряжений между приемником и передатчиком. Эта защита дополнена дифференциальным способом передачи сигнала через два одинаковых конденсатора. От сбоя в результате воздействия внешних электростатических полей канал передачи защищен внутренним экраном. В результате примененных решений изменение напряжений между землями приемника и передатчика до 1600 В/мкс у типичного изделия не приводит к сбоям.

Приемопередатчик ISO485 предназначен для работы с интерфейсом RS-485 в полудуп-

Таблица 3

DE	RE	Шина RS-485
0	0	Прием информации из шины
0	1	Высокоимпедансное состояние на шине
1	0	Высокоимпедансное состояние на шине
1	1	Передача информации в шину

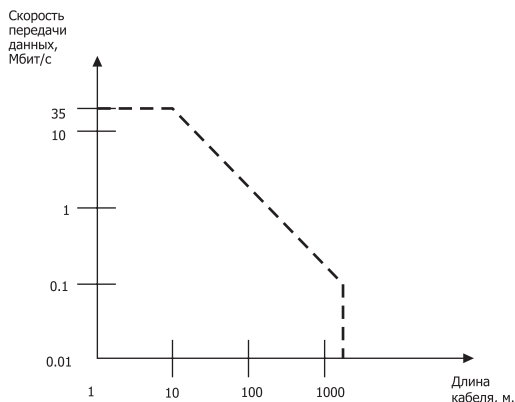


Рис. 3. Скорость передачи данных относительно длины кабеля для RS-485

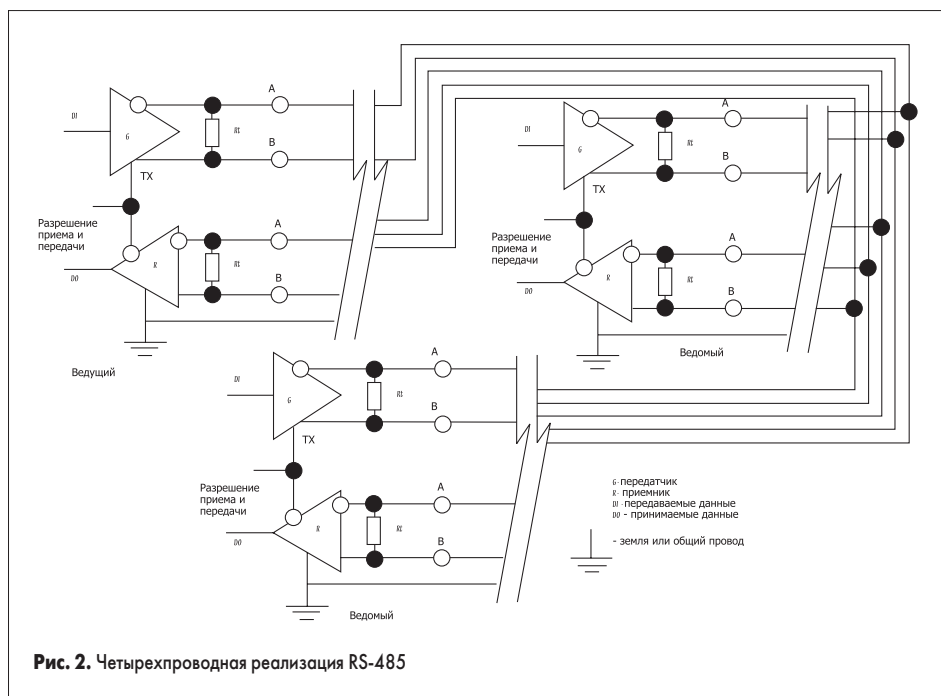


Рис. 2. Четырехпроводная реализация RS-485

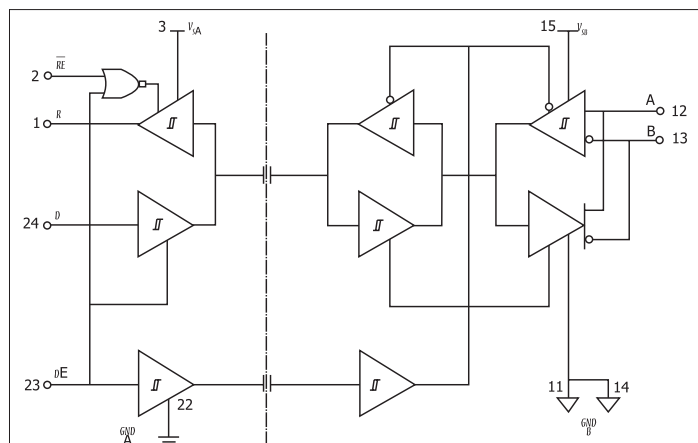


Рис. 4. Структурная схема приемопередатчика ISO485 фирмы Burr-Browndля RS-485

Таблица 4

Название	Входное сопротивление приемника, кОм	Скорость передачи данных, кбит/с
МАХ3471	96	64
МАХ3080/ МАХ3081/ МАХ3082	96	115
МАХ3483/ МАХ3488	12	250
МАХ3083/ МАХ3084/ МАХ3085	96	500
МАХ3486	12	2500
МАХ3086/ МАХ3087/ МАХ3088	96	10000
МАХ3485/ МАХ3488/ МАХ3490/ МАХ3491	12	10000
МАХ3089	96	можно выбрать между:115;500;10000

лексном режиме, то есть с переключением направления передачи, для чего на одной из сторон имеются управляющие входы. Гарантированная скорость передачи данных 20 Мбит/с, максимальная — 35 Мбит/с, типовая скорость передачи данных на расстояние 50 метров — 30 Мбит/с [3].

Фирма МАХИМ выпускает ИС приемопередатчиков, среди которых есть микросхемы для RS-485 с входным сопротивлением 96 кОм. Применение данных микросхем позволяет увеличить количество приемников и передатчиков в одной линии передачи информации до 256. Для ИС приемопередатчиков данной фирмы буква «Е» в окончании означает, что данная ИС имеет защиту от электростатических выбросов 15 кВ. Существуют ИС как для дуплексного, так и для полудуплексного режимов. Скорость передачи зависит от скорости нарастания и спада сигналов с выводов приемопередатчика, в некоторых микросхемах существует специальный выход для ее регулирования. Разбиение микросхем по скорости и входному сопротивлению приведено в табл. 4. Кроме приемопередатчиков, компания МАХИМ выпускает универсальные асинхронные приемопередатчики UART со встроенным приемопередатчиком RS-485, а также микросхемы гальванической изоляции для RS-485.

В заключение можно сказать, что для интерфейса RS-485 приемопередатчики выпускает большое количество производителей элементной базы, включая такие гиганты, как Texas Instruments (в состав которой теперь входит фирма Burr-Brown), Philips, National

Semiconductor и др. Кроме приемопередатчиков, компании выпускают и отдельные микросхемы приемников и передатчиков.

3. Интерфейс LVDS

Интерфейс LVDS — low voltage differential signaling (TIA/EIA 644) — используется в скоростных схемах передачи данных. Интерфейс LVDS использует дифференциальную передачу данных с более низкими, чем у RS-485, уровнями сигналов. Область применения LVDS в координатах «длина кабеля — скорость передачи данных» показана на рис. 5 [1]. Сегодня этот стандарт получил широкое применение в области интерфейсов мониторов.

Выходная разность сигналов обычно 300 мВ, у приемопередатчиков разных фирм она лежит в диапазоне 140–460 мВ. Линию нагружают сопротивлением 100 Ом. Выходной ток передатчика — от 2,47 до 4,54 мА. Интерфейс LVDS обладает лучшими характеристиками потребления по сравнению с RS-485. Максимальная теоретическая скорость передачи данных составляет 1,923 Гбит/с, рекомендованная максимальная скорость — 655 Мбит/с. Фирмы-производители стремятся к преемственности приемопередатчиков RS-485 и LVDS. Это должно облегчить изменение старых разработок в соответствие с новым стандартом.

Элементную базу для данного интерфейса производят такие компании, как Texas Instruments, National Semiconductor и др. Приемопередатчики данных фирм для LVDS созданы по КМОП-технологии.

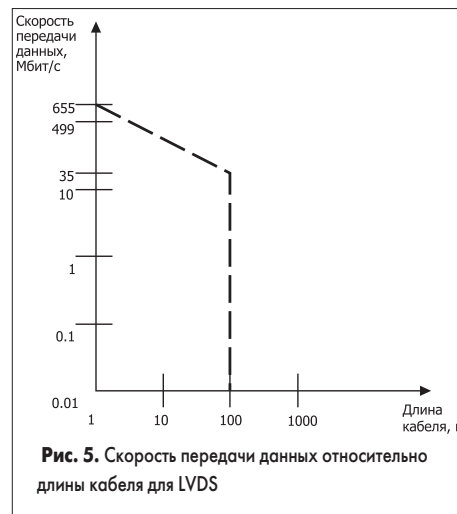


Рис. 5. Скорость передачи данных относительно длины кабеля для LVDS

4. CAN-протокол

CAN-протокол был разработан фирмой Robert Bosch GmbH для использования в автомобильной электронике и отличается повышенной помехоустойчивостью и надежностью. В настоящее время этот интерфейс широко применяется в промышленности, энергетике. Область применения CAN-протокола в координатах «длина кабеля — скорость передачи данных» показана в табл. 5 и проиллюстрирована на рис. 6. На основе данного

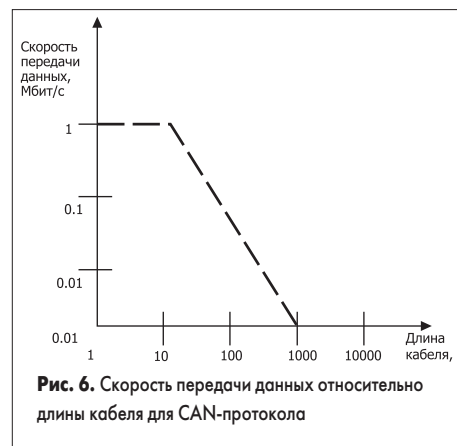


Рис. 6. Скорость передачи данных относительно длины кабеля для CAN-протокола

Таблица 6

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Производитель	Bosch	Mietec	Philips	Philips	Philips	SGS-Thomson	Temic (Siliconix)	Unitrode	Texas Instrument	Siemens	Siemens
Название приемопередатчика	CF150B	MTC-3054	82C250	82C251	TJA1054	L9615	Si9200EY	UC5350	SN65LBC031 SN75LBC031	TLE6263G	TLE6255G
Скорость передачи данных, кбит/с	500	1000	1000	1000	125	500	1000	1000	500	125	40
Уровни возможных коротких замыканий, В	-5...+36	-3...+65	-8...+18	-36...+36	-10...+27	-5...+36	GND...+16	-8...+36	-5...+20	-40...+40	-28...+28
Импульсные помехи, В	-200...+200	-200...+200	-150...+100	-200...+200	-150...+100	-200...+200	-60...+60	-150...+100	-150...+100	неизвестны	неизвестны
Выдерживаемый электростатический разряд, кВ	2	2	2	2.5	2	2	2	2	2	2	2
Выключение по перегреву	есть	нет	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
Управление нарастанием выходного сигнала	2 состояния	управляемое	управляемое	управляемое	управляемая	2 состояния	нет	управляемое	2 состояния	управляемое	управляемое
Максимальная задержка, нс	230	100	170	170	не указана	230	120	100	не указана	неизвестна	6000
Ветвление по выходу	32	32	64	64	32	32	32	110	не указано	неизвестно	неизвестно
Ток питания, мА	<80	110	<70	<80	<27	<80	<70	<70	<80	неизвестно	200
Ток питания в режиме сохранения энергии, мкА	нет	300	<170	<275	<10	нет	нет	1500	нет	100	60
Корпус	SOIC-8	SOP-16	SO-8, DIP-8	SO-8, DIP-8	SO14	SO-8	SO-8	SOIC-8, DIL-8	SO-8, R-PDSO-G14	P-DSO-28-6	P-DSO-14-4

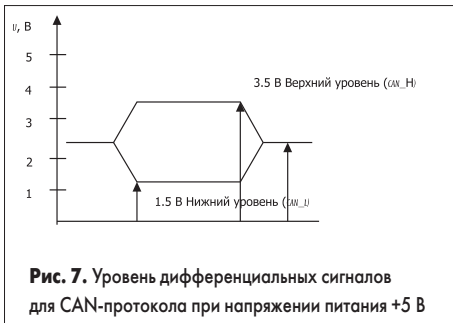
протокола создаются и мультиплексные каналы, и скоростные сети.

Таблица 5

Расстояние, м	25	50	100	250	500	1000
Скорость, Кбит/с	1000	800	500	250	125	50

Передача сигналов CAN-протокола осуществляется по витой паре. Физический уровень определяется стандартом ISO 11898. Дифференциальное включение приемопередатчиков обеспечивает подавление синфазной помехи, при этом уровень сигналов составляет 1/3 от значения напряжения питания, а само напряжение питания не определяется жестко. Например, типичные значения при напряжении питания +5 В приведены на рис. 7.

Доминирующим является низкий уровень напряжения, а рецессивным — верхний. При создании каналов с CAN-протоколом применяют гальваническую развязку, причем она может устанавливаться в любой части блока приемопередатчика между линиями ввода-вывода информации и средней передачи данных (обычно это витая пара) [4].



Элементная база, поддерживающая CAN, широко выпускается различными зарубежными фирмами. В табл. 4 представлены приемопередатчики различных фирм.

Приемопередатчики, которые специально разработаны для применения в автомобильных мультиплексных шинах, обладают более низкой скоростью нарастания выходного сигнала, а следовательно, и более низкой скоростью передачи данных. Фирмы Siemens и Philips являются лидерами в этом направлении.

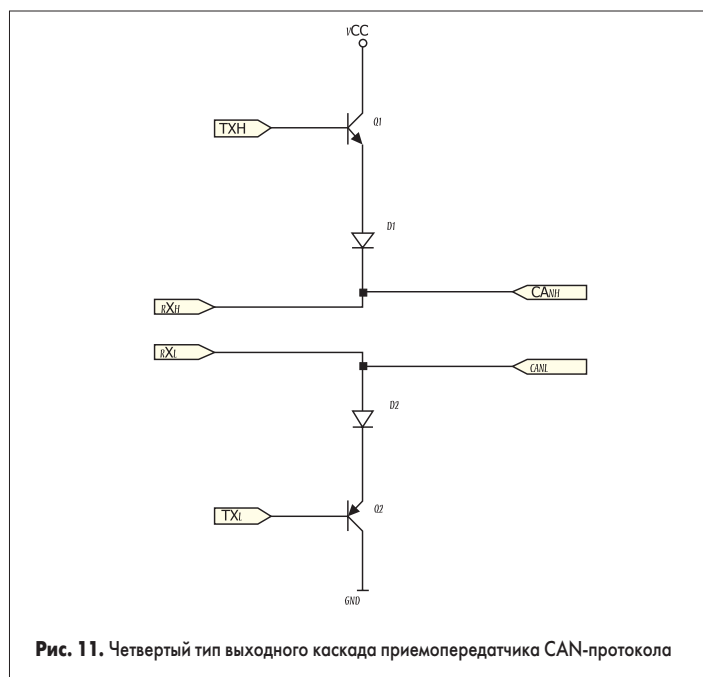
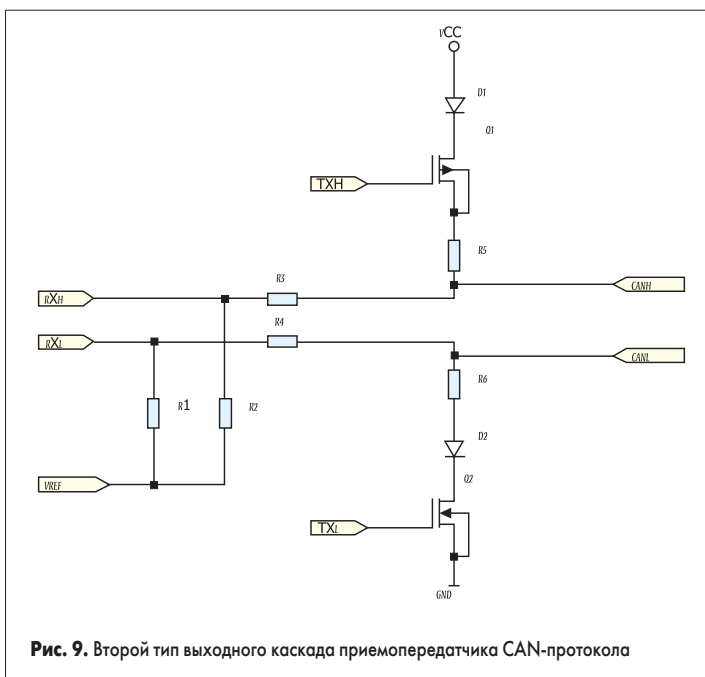
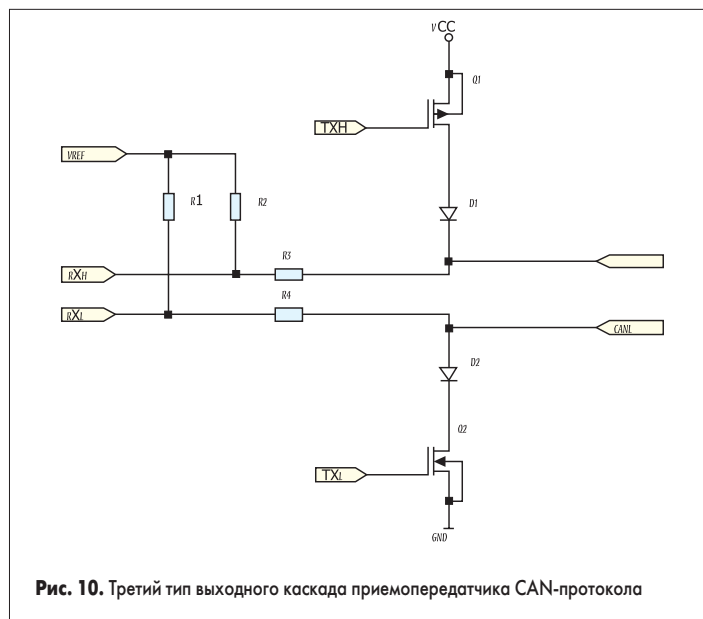
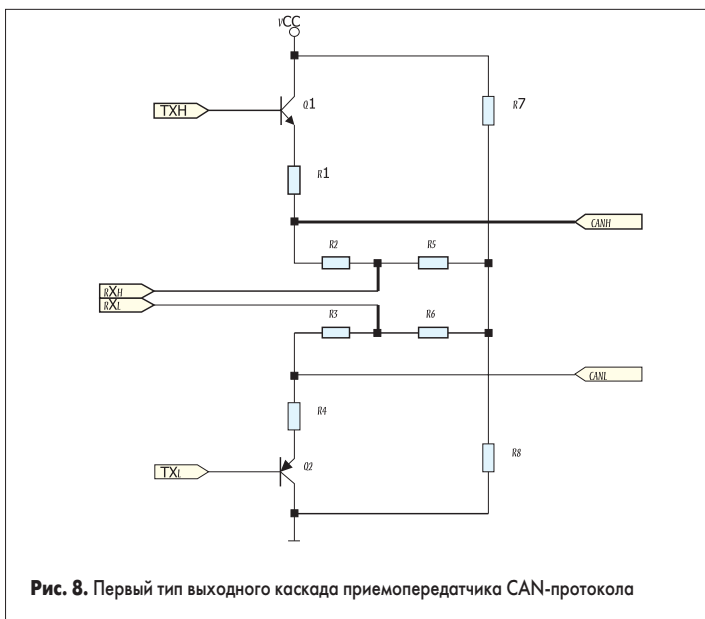
Не только фирмы, приведенные в табл. 4, но и многие другие выпускают приемопередатчики для линий с CAN-протоколом. Технология их различна: КМОП, биполярная, БиКМОП.

Схему приемопередатчика для CAN-протокола можно разбить на две части:

- первая, осуществляет интерфейс с контроллером протокола, выводы, отвечающие за данную функцию, имеют стандартные КМОП или TTL-уровни для напряжения питания 5 В со стандартными требованиями;
- вторая, отвечает за физическую организацию передачи и приема информации на передающую линию.

Основу приемопередающей части составляет комплементарная пара биполярных или МОП-транзисторов с некоторым набором резисторов и диодов. Отличительной особенностью приемопередающих выводов CANL и CANH являются требования по помехам и электростатике, представленные в табл. 6.

В приемопередатчиках CAN-протокола применяется четыре основных типа выходных каскадов. Все они представлены на рис. 8–11



[5–8]. CANL и CANH — внешние выводы на линию передачи, TXL и TXH — внутренние сигналы, управляющие передачей, RXL и RXH — внутренние сигналы, идущие на приемную часть.

5. ГОСТ 26765.52-87 и соответствующий ему зарубежный стандарт MIL-STD-1553B («Манчестер-2»)

В качестве стандарта на интерфейс MIL-STD-1553B был принят в 1978 году и до этого времени активно используется в области техники спецприменений. «Интерфейс магистральной последовательной системы электронных модулей» ГОСТ 26765.52-87 [9] был принят в СССР в 1987 году, и в качестве основы при его разработке использовался MIL-STD-1553B.

В названных интерфейсах определены не только характеристики линий и оконечных устройств интерфейса, но и правила организации обмена информацией и контроля ее при передаче, а также состав технических средств интерфейса. Они являются, по сути, стандартами на построение системы в целом и определяют в значительной степени архитектурные решения и программное обеспечение.

Мультиплексные каналы междомодульного обмена информацией, выполненные по ГОСТ 26765.52-87 (MIL-STD-1553B), имеют магистральную (шинную) организацию (рис. 12).

ГОСТ 26765.52-87 подразумевает построение магистрали, имеющей до 32 отводов длиной до 6 м каждый. Для ответа на вопрос, какой длины может быть сама магистраль, в петербургской фирме «Элкус» было произведено несколько физических экспериментов. При исследовании были апробированы три основных типа наиболее распространенных кабелей: Р-75, РД-75, ВСФ-75. Результаты, полученные в ходе исследования, позволяют утверждать, что на кабеле Р-75 возможно построение магистрали длиной до 600 м, на РД-75 — до 700 м, на ВСФ-75 — до 500 м [10].

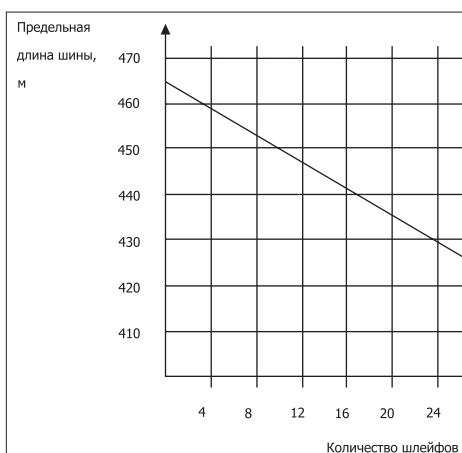


Рис. 13. Зависимость максимально допустимой длины шины ГОСТ 26765.52-87 для кабеля ВСФ-75 (пропускная способность фиксирована — 1000 кбит/с)

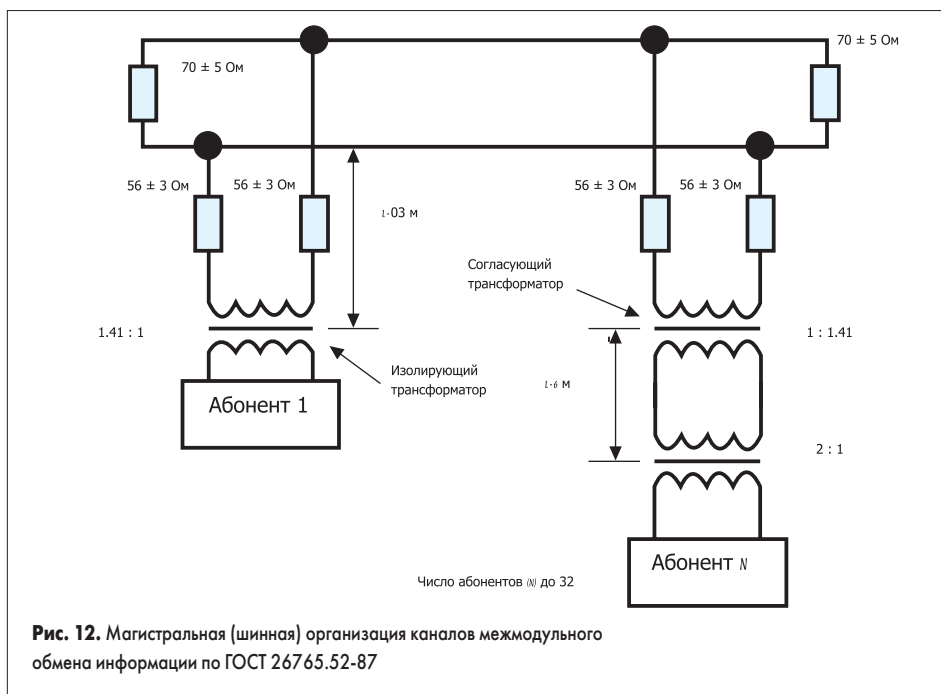


Рис. 12. Магистральная (шинная) организация каналов междомодульного обмена информацией по ГОСТ 26765.52-87

Основные постулаты, используемые при построении каналов:

1. Длина линии не должна быть больше максимальной.
2. Суммарная длина шлейфов, отходящих от одной точки ветвления при использовании схемы с двойной трансформаторной развязкой, не должна превосходить 6 м.
3. Расстояние между соседними точками отводов магистрали должно быть не менее 1 м.
4. При использовании максимальных геометрических параметров число отводов не должно превосходить 32.

Для сравнения на рис. 13–14 приведены геометрические параметры шины ГОСТ 26765.52-87 (MIL-STD-1553B) с постоянной скоростью передачи информации 1 Мбит/с и зависимость предельной длины линии передачи от скорости передачи данных для RS-485. Из анализа графиков следует, что теоретическая пропускная способность ГОСТ 26765.52-87 превосходит возможности стандарта RS-485 при некоторой длине линии передачи. Так, на рис. 14 точкой А обозначено место на графике, согласно которому интерфейсу RS-485 при скорости передачи данных в 1 Мбит/с позволяет строить радиальные линии длиной всего лишь около 240 м.

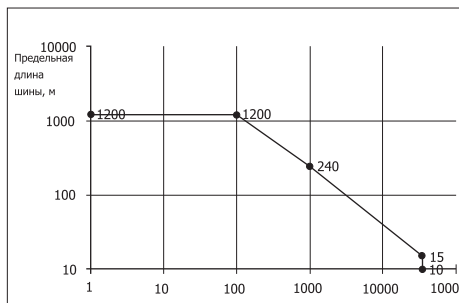


Рис. 14 Зависимость максимально допустимой длины шины от требуемой пропускной способности для стандарта RS-485

Схему приемопередатчика для MIL-STD-1553B можно разбить на две части:

- первая осуществляет интерфейс с контроллером протокола, выводы, отвечающие за данную функцию, имеют стандартные КМОП или ТТЛ-уровни для напряжения питания 5 В со стандартными требованиями;
- вторая отвечает за физическую организацию передачи и приема информации на передающую линию (во многих ИС приемопередатчиков при этом используется дополнительное напряжение питания).

Элементную базу, в том числе и приемопередатчики для MIL-STD-1553B, выпускают различные фирмы-производители: Data Device Corporation (DDC), National Hybrid, Aeroflex Circuit Technology, UTMC Microelectronic System. Приемопередатчики исполнены в виде гибридных схем или схем по толстопленочной технологии. В частности, приемопередатчики фирмы DDC использовались в оборудовании самолета «Ягуар». Старые серии приемопередатчиков требовали напряжения питания +5 В, а также 15 или 12 В. Последние разработки требуют напряжения питания +5 В. В России приемопередатчики ГОСТ 26765.52-87 выпускает петербургское предприятие ЗАО «НИТИ — Авангард». В табл. 7 приведены основные характеристики приемопередатчиков различных производителей.

6. Интерфейс магистральный для бортовой аппаратуры космических аппаратов

Интерфейс магистральный для бортовой аппаратуры (ИМБА) [11], принятый в целях унификации Российским авиационно-космическим агентством, был разработан для использования в качестве системного интерфейса последовательной полудуплексной связи между резервированной бортовой управляющей вычислительной машиной и абонентами целевых и служебных систем космического аппарата (КА). Ориентация интерфейса на электрофизический стандарт RS-485 [12] связана с

Таблица 7

Наименование параметра, единица измерения	BU-63147, BU-63148	BU-63152	Семейство BUS53100	Семейство UT63M1XX	NHI-1540	NHI-1573, NHI-1579	ACT4454, ACT4460, ACT4810	ACT4433, ACT4458, ACT4464	BA 997 BA 998
Производитель	DDC	DDC	DDC	UTMC Microelectronic System	National Hybrid, Inc	National Hybrid, Inc	Aeroflex Circuit Technology	Aeroflex Circuit Technology	ЗАО "НИТИ – Авангард"
Сколько приемопередатчиков в одной ИС	2	2	1 или 2	2	2	2	2	2	1
Напряжение питания, В	до 7, типичное 5	до 7, типичное 5	5, и одно из списка: ±12, ±15, -12, -15	до 7, типичное 5, и одно из списка: +12, +15	4.5-5.5 и 11.4-12.6	4.5-5.5	до 7, типичное 5	до 7, типичное 5	5 и ±15, 5 и ±12
Входное сопротивление приемника, кОм	от 2.5	от 2.5	7	до 15	от 7	от 20	-	-	-
Входная емкость приемника, пФ	менее 5	менее 5	5	-	менее 5	менее 5	-	-	-
Чувствительность (порог) приемника, В	0.2-0.86	0.2-0.86	0.5-1.0	от 0.2	0.56-1.0	-	0.6-1.1	0.6-1.1	1.2
Максимальное входное напряжение, В	-	-	40	до 20	до 40	до 40	до 20	до 40	-
Задержка приемника, нс	-	-	-	до 200	до 400	до 350	-	-	-
Выходное напряжение, В	6-9	6-9	на прямое соединение через нагрузку 140 Ом, до 29	до 27	6-9	на прямое соединение через нагрузку 140 Ом, 29 - 36	6.3-7.7	6-9	6-9, 4-9
Время нарастания и спада выходного сигнала, нс	100-300	100-300	115-150	до 200	100-300	100-300	200-300	100-300	-
Задержка передатчика, нс	-	-	-	до 25	до 250	до 150	400	200	-

внедрением более адекватных и перспективных для применения в КА каналов информационного обмена, учитывающих массогабаритные и энергоресурсные ограничения в КА, а также приемлемую для КА с длительными сроками существования технологию распределенной программно-аппаратной поддержки отказоустойчивости в резервированных архитектурах бортовых комплексов управления [13-15]. Эта технология обеспечивает гибкую реконфигурацию резервов при отказах, а для парирования (обнаружения сбоя, его локализации и маскирования его внешнего проявления) от радиационных воздействий на орбите в реальном масштабе времени — требует увеличения скоростей обмена для реализации необходимой динамики обнаружения сбоя и восстановительных процедур.

Традиционно используемый в КА интерфейс ГОСТ 26765.52-87 (MIL-STD-1553B) [9] обеспечивает обмен данными на расстояние до 100 метров со скоростью 1 Мбод. В то же время для большинства КА длина магистрали не превышает 11 метров, а для малых КА и микроспутников — 2 метров. С другой стороны, сравнение затрат на устройства интерфейса ГОСТ 26765.52-87 (MIL-STD-1553B) и RS-485 показывает ряд преимуществ последнего:

- по стоимости комплектующих — снижение в 20 раз при использовании зарубежных электронных радиокомпонентов (в 6 раз — отечественных);
- по энергопотреблению — уменьшение в 6 раз (с гальванической развязкой);
- по скорости — увеличение в 10 раз (до 10 Мбод на расстоянии до 60 метров).

Функции технических средств ИМБА и его базовые принципы организации логического протокола обмена ориентированы на обеспечение максимальной функциональной приемственности к интерфейсу [9] по следующим основным причинам:

- соответствие основных функций устройств интерфейса требованиям используемой технологии поддержки отказа- и сбоеустойчивости;

- достаточный уровень верификации, подтвержденный длительным и массовым применением в реально функционирующих системах;
- минимальная избыточность, то есть информационная экономичность, его битовой (двоичной) организации форматов обмена;
- адекватность резервирования отказоустойчивым применениям в бортовых комплексах.

В ИМБА используется все три функциональных режима устройств интерфейса (УИ), а именно: в рабочей конфигурации резервных копий вычислительных машин (ПКМ) ведущая вычислительная машина (ВМ) в режиме контроллера инициирует обмены с УИ абонентов, находящихся в режиме окончательных устройств. Остальные ВМ ПКМ осуществляют прослушивание и контроль обменов в режиме мониторов. В интересах обеспечения сбое- и отказоустойчивого управления в реальном масштабе времени в ИМБА сохранен жесткий командно-ответный принцип обмена с контролем приема сообщений по достоверности и времени [9].

При сохранении еще целого ряда характеристик [9] ИМБА имеет следующие отличия.

- 1) Выбранный формат элемента данных — 11-битовая посылка, включающая стартовый бит, 8-разрядное информационное поле, бит признака адресной посылки (А) и стоповый бит, который завершает передачу, учитывая возможность использования поддержки протокола через последовательные порты RS-232 широко распространенного класса однокристальных микроконтроллеров семейства MCS-51 [16]. В них на восьмой бит посылки вместо функции контроля четности, не обеспечивающей эффективной защиты от импульсных помех в линиях передачи информации при NRZ-кодировании сигналов в стандарте RS-485, возложена функция идентификации адресной посылки в целях снижения потока прерываний в микроконтроллерах абонентов, подключенных к магистрали.

- 2) Из адресной и неадресной посылок образуются командные и ответные кадры, защищенные контрольными посылками. На основе этих кадров поддерживаются все шесть основных форматов и четыре групповых формата сообщений [9].

- 3) В адресной посылке введена подвижная граница между адресом и подадресом в целях обеспечения возможности адаптации к конкретным требованиям разных бортовых систем, отличающихся числом адресуемых на ИМБА устройств интерфейса и числом подключенных к ним абонентов.

- 4) В интересах повышения контролепригодности и сбоеустойчивости командные кадры управления (с аппаратным декодированием и исполнением) расширены командами приведения в исходное состояние абонентов и инициализации их самоконтроля, а также командой подтверждения исполнения предшествующих ответственных команд управления и записи для абонентов, воздействующих на исполнительные органы КА, на которые не допускается выдача даже кратковременных ошибочных воздействий (например, управление двигательными установками КА для коррекции орбиты или ориентации).

- 5) Полный контроль достоверности кадров осуществляется только после завершения приема всех его посылок и сравнения остатка от деления объединенного двоичного кода информационных полей всех посылок, кроме контрольной, на неприводимый восьмиразрядный многочлен над полем Галуа GF(2) со значением в контрольной посылке.

- 6) В целях повышения сбоеустойчивости контроль допустимости кадров расширен введением контроля контекстной допустимости последовательности кадров, в частности при использовании режима с подтверждением исполнения, в том числе и для групповых форматов.

- 7) Введение ограничения в дублированном варианте интерфейса приема по другому (не нагруженному) информационному каналу

только кадров управления, так как прием других видов кадров, вытесняющих передачу при приеме кадров по нагруженному каналу, не представляется функционально обоснованным.

Реализация логического протокола ИМБА планируется на полузаказной КМОП БИС 5503XM10, при этом на локально ограниченных фрагментах схемы, в частности в декодере, достижима частота 40 МГц, что с учетом ограниченных искажений на малых длинах магистрали в КА позволит обеспечить 5 Мбод. Кроме того, БИС на основе БМК серии 5503 имеет повышенную радиационную стойкость к накопленной дозе и защиту от тиристорного эффекта.

В качестве приемопередатчиков устройств интерфейса могут использоваться микросхемы, приведенные в табл. 2 и 4.

7. Сравнение по скорости передачи пакетов и надежности передачи информации CAN-протокола и MIL-STD-1553B

Попробуем сравнить время передачи шестидесяти четырех 8-битных данных информации посредством CAN-протокола и MIL-STD-1553B на расстояние 25 метров при скорости 1 Мбит/с.

Стандартный фрейм CAN-протокола состоит из стартового поля SOF (1 бит), поля арбитража Arbitration Field (12 бит), управляющего поля Control Field (6 бит), поля данных Data Field (количество байт не больше 8, следовательно, в максимальном случае 64 бита), поля контрольной суммы CRC (15 бит), поля подтверждения ACK Field (2 бита) и поля конца фрейма EOF (7 бит). Между фреймами минимальное время — 3 бита [4]. На передачу 64 байт данных потребуется 8 стандартных фреймов и 7 межфреймовых задержек, что составит по времени 877 микросекунд.

Пересылка с помощью MIL-STD-1553B будет производиться в соответствии с форматами 1 и 2 [9]. Предполагая, что пауза между выдачей ответного слова и пауза между сообщениями минимальны и составляют 4 микросекунды, а передача 64 бит происходит за 2 сообщения, в состав которых входит по 32 слова данных и по одному командному слову и ответному слову (все слова 20-битные), можно сделать вывод, что передача займет 1372 микросекунды.

Следовательно, при длине передающей линии, когда скорости передачи одного бита одинаковы, CAN-протокол предпочтительнее MIL-STD-1553B при пересылке одинакового количества байт.

Сравним проверки на надежность CAN-протокола и MIL-STD-1553B.

CAN-протокол проверяет сообщение при его передаче на следующие ошибки:

- Разрядную ошибку. Передатчик сравнивает уровень на шине с уровнем, который должен передаваться.
- Ошибка подтверждения. Передатчик отслеживает подтверждение приема сообщения.
- Ошибка заполнения. В соответствии с CAN-протоколом не должно последовательно передаваться 6 бит одного и того же значения,

и это должны отслеживать подключенные узлы.

- CRC-ошибка. Появляется, когда значение CRC приемника не соответствует значению CRC принятой посылки.
 - Ошибка формы. Появляется, когда в строго определенной CAN-протоколом области обнаруживается недопустимое значение (например, стартовый бит должен иметь доминантный уровень, а в области окончания фрейма все биты должны быть рецессивными).
- MIL-STD-1553B проверяет сообщение при его передаче на следующие ошибки:
- Начало слова — синхросигнал, соответствующий типу передаваемого слова.
 - Информация должна передаваться последовательным биполярным фазоманипулированным кодом.
 - Количество информационных разрядов в слове должно быть равно 17, включая разряд контроля по четности.
 - Сумма значений всех информационных разрядов должна быть нечетной.

Из вышеперечисленного видно, что проверка источником приема передаваемого сообщения в CAN-протоколе производится сразу, а не посредством ответного слова, как в MIL-STD-1553B. Возможность отследить ошибку с помощью CRC-кодирования, а не с помощью бита четности при приеме также предпочтительнее. Следовательно, надежность сообщения при передаче сообщения с помощью CAN-протокола выше.

Выводы

Из всех рассмотренных протоколов самый распространенный на настоящий момент RS-485. Приемопередатчики, соответствующие данному протоколу, выпускаются многими зарубежными фирмами. В области передачи данных на расстояние до 10 метров его активно вытесняет LVDC.

Протокол MIL-STD-1553B и соответствующий ему ГОСТ 26765.52-87 до настоящего времени применяется при разработке аппаратуры спецприменений, и поэтому микросхемы для этого протокола востребованы до сих пор, хотя видно, что современные протоколы, такие как CAN, превосходят данный стандарт как по скорости, так и по надежности передачи пакетов.

В рамках требований бортовых комплексов управления космическими аппаратами перспективен также рассмотренный протокол ИМБА, использующий электрофизический стандарт RS-485.

Литература

1. Burr-Brown Electronics. RS-422 and RS-485. Application Note. Revised October 1997.
2. Стещенко Владимир. Школа схемотехнического проектирования устройств обработки сигналов. Занятие 3. Интерфейсы передачи данных и сопряжения устройств // Компоненты и технологии. 2000. № 5.
3. Авербух Валерий. Каналы передачи дискретных сигналов с гальванической изо-

ляцией // Электронные компоненты. 1999. № 4.

4. Карпенко Евгений. Возможности CAN-протокола // Современные Технологии Автоматизации. 1998. № 4.
5. Data Sheet Si9200. CAN Bus Driver. Vishay Siliconix. 05-Apr-99.
6. Data Sheet L9615. CAN BUS TRANSCEIVER. SGS-THOMSON MICROELECTRONICS. February 1998.
7. Target Data Sheet TLE 6250. CAN-Transceiver. SIEMENS. 30-03-1999.
8. Data Sheet PCA82C250. CAN controller interface. Philips Semiconductors. 21-10-1997.
9. Интерфейс магистральный последовательный системы электронных модулей. Общие требования. ГОСТ 26765.52-87. 1987.
10. Хвоц Сергей, Амаду Х. Х. Промышленные сети на базе стандарта MIL-STD-1553B // Современные Технологии Автоматизации. 1999. № 4.
11. Отраслевой руководящий документ «Методические рекомендации. Интерфейс магистральный для бортовой аппаратуры космических аппаратов» РД 134-0121-2000. М.: ФГУП НИИ «Субмикрон». 2000.
12. EIA Recommended Standard RS-485. Standard Electrical Characteristics of Generators and Receivers for Use in Balanced Digital Multipoint Systems. Prepared by EIA TR-30.1. Subcommittee of Signal Quality.
13. Гришин В. Ю., Еремеев П. М., Сиренко В. Г. Направление создания перспективных отказоустойчивых бортовых вычислительных систем, управляющих космическими аппаратами / Тезисы докладов III международной научно-технической конференции «Микроэлектроника и информатика». Москва—Зеленоград. 1997.
14. Гришин В. Ю., Зубов Н. Н., Смаглий А. М. Принципы построения перспективных отказоустойчивых бортовых вычислительных систем управления космическими аппаратами с длительным сроком активного существования / Сборник докладов Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы анализа и обеспечения надежности и качества приборов, устройств и систем». Пенза: Изд. ПГТУ. 1998.
15. Сиренко В. Г., Гришин В. Ю., Смаглий А. М., Зубов Н. Н. Анализ системных требований к бортовым вычислительным комплексам авиакосмических применений. Аннотации докладов секции 5 V международного научно-технического симпозиума «Авиационные технологии XXI века». Жуковский: Изд. ЦАГИ. 1999.
16. Зубов Н. Н. Динамическая устойчивость к нарушениям функционирования бортовых компьютеров с резервированием на основе информационного согласования и распределенной поддержки устойчивости. Аннотации докладов секции 5 V международного научно-технического симпозиума «Авиационные технологии XXI века». Жуковский: Изд. ЦАГИ. 1999.
17. Справочник. Однокристалльные микроЭВМ. М.: МИКАП. 1994.