

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЛЬТИПЛЕКСНОГО КАНАЛА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА БОРТОВЫХ ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ НАЗЕМНЫХ ИСПЫТАНИЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

Аппаратура современных КА включает в себя одну или несколько бортовых вычислительных машин, которые управляют распределенными подсистемами электроснабжения, обеспечения теплового режима, ориентации и стабилизации, телеметрической, радиопередающей, информационной и научной аппаратурой целевого назначения.

Для локального многоточечного соединения перечисленного оборудования широко применяются стандартизированные интерфейсы последовательных мультиплексных каналов обмена (МКО).

При комплексной электрической проверке КА необходимо получать информацию о работе МКО, опосредовано через него иметь данные о работе бортовых вычислительных машин и подсистем в процессе испытаний. Реализуется это с помощью ввода в состав АИС интерфейса с бортовым МКО.

Интерфейс с МКО выполняют по ГОСТ В 24394-80 и ГОСТ 26765.52-87 (аналоги стандартов США MIL-1553В и MIL-STD 1553 соответственно). Оба интерфейса МКО обеспечивают расширенные режимы адресации, защиту от помех и идентификацию ошибок передачи [1].

В состав МКО входят контроллер, оконечные устройства (ОУ) в количестве до 31, линии передачи информации.

Контроллер, обычно входящий в состав бортовой вычислительной машины, управляет обменом информации, осуществляет сопряжение с линией передачи информации, контроль передачи информации, состояния ОУ и самоконтроль.

ОУ принимает и выполняет адресованные ему команды контроллера, осуществляет сопряжение подключенного оборудования с линией передачи информации, контролирует передачу информации, производит самоконтроль и передает результаты контроля в контроллер.

Линия передачи информации состоит из магистральной шины, соединителей и разъемов, обеспечивающих членение и проход магистралей в герметические отсеки.

Магистральная шина линии передачи информации выполняется из кабеля с витой экранированной парой проводов в защитной оболочке, к которым с обоих концов кабеля должны быть подключены согласующие резисторы.

В интерфейсах МКО обмен информацией осуществляется по принципу команда-ответ с временным разделением сообщений, состоящих из командных (КС), информационных (ИС) и ответных слов (ОС).

Передача сообщений осуществляется последовательным цифровым кодом, по общей линии передачи информации, асинхронным способом с выделением синхронизирующих сигналов из принимаемого кода в полудуплексном режиме.

Скорость передачи составляет 1 Мбит/с  $\pm 0,1\%$ .

В качестве кода передачи информации применяется биполярный двухуровневый фазоманипулированный код без возвращения к нулю, так называемый код Манчестер II.

Наземные испытания КА с интерфейсом МКО для связи бортового оборудования значительно упрощаются, если линию передачи информации бортового МКО "продлить" до соответствующих схем АИС, обеспечивающих интерфейс с МКО. При этом суммарная длина магистральной шины не должна превышать 100 м.

Выбор аппаратных средств в составе АИС для работы с МКО зависит от стандарта МКО, используемого при работе бортового оборудования КА (ГОСТ В 24394-80 или ГОСТ 26765.52-87).

Отличия этих стандартов состоят в количестве используемых форматов сообщений при обмене информацией, содержанием и расположением отдельных разрядов в поле "Признаки состояния ОУ" в ответном слове, в принципах организации резервных магистральных шин.

Более подробно эти различия состоят в следующем:

1. Количество форматов сообщений, используемых в МКО по ГОСТ 26765.52-87, доведено до 10 (вместо 4-х по ГОСТ В 24384-80). Связано это, в основном, с появлением форматов групповых сообщений.

2. Использование групповых сообщений привело к появлению новых признаков в соответствующем поле ответного слова. В поле "Признаки состояния ОУ" изменилось и расположение разрядов состояния, общих для обоих стандартов МКО (например признак "Запрос на обслуживание").

Последнее изменение значительно затрудняет подключение к общей магистрали МКО устройств, ориентированных на работу по разным стандартам МКО.

3. Линии передачи информации по ГОСТ В 24384-80 выполняются с любой кратностью резервирования. Причем в каждый момент времени может функционировать не только основной информационный канал, но и резервные. В интерфейсе МКО по ГОСТ 26765.52-87 имеется один основной и один резервный информационные каналы. В произвольный момент времени один из них должен быть в ненагруженном состоянии (резерве). Резервирование информационных каналов интерфейса по ГОСТ 26765.52-87 с кратностью более 1/1 должно осуществляться путем образования дополнительных пар каналов. Один из каналов в каждой паре должен быть в резерве.

Структурная схема бортовых технических средств, связанных между собой и АИС интерфейсом МКО ГОСТ 26765.52-87, приведена на рис. 1.

Более современный стандарт интерфейса МКО (ГОСТ 26765.52-87) предполагает использование нового технического средства - монитора. Функцией последнего является прослушивание в линии передачи и отбор необходимой информации.

Несмотря на наличие современного стандарта МКО ГОСТ 26765.52-87, разработчики КА продолжают использовать стандарт МКО ГОСТ В 24394-80 для связи бортового оборудования. Объясняется это тем, что в свое время были разработаны специализированные аппаратные средства ПАО 17М223, ориентированные на ГОСТ В 24384-80.



Рис. 1. Структурная схема бортовых технических средств

Фактически ПАО представляет собой законченную бортовую цифровую вычислительную машину, которая может работать как в режиме контроллера МКО, так и в режиме оконечного устройства.

Особенностью применения ПАО является троирование линий передачи информации в МКО и использование троированного цифрового интерфейса для сопряжения с бортовым оборудованием (последний задействован при работе ПАО в режиме ОУ).

Для обоих интерфейсов аппаратными средствами в составе ПАО обеспечивается мажоритарная выборка "два из трех".

Использование ПАО в режиме оконечного устройства в ряде случаев является избыточным, но зато избавляет разработчиков отдельных подсистем в составе КА от работ в области вычислительной техники. Все операции, связанные с программированием необходимых алгоритмов по управлению соответствующим оборудованием КА, могут быть возложены на специалистов из сервисной службы по внедрению ПАО. Разработка и отладка пользовательских программ для ПАО осуществляется с помощью специализированного диалогового вычислительного комплекса, приобретаемого потребителями одновременно с ПАО.

Устройства, аналогичные ПАО 17М223, но работающие по стандарту МКО ГОСТ 26765.52-87, не выпускаются. С этим и связано использование, в отдельных случаях, морально устаревших устройств ПАО для локального соединения оборудования в современных КА.

При выполнении АИС, имеющих в своем составе интерфейс с МКО, могут быть использованы различные структуры.

Одним из вариантов создания автоматизированной испытательной системы является включение в состав АИС двух устройств ПАО 17М223 для реализации сопряжения с бортовой троированной магистралью МКО по ГОСТ В 24394-80. Единая троированная магистраль МКО объединяет между собой как оборудование КА, так и ПАО в составе наземной испытательной системы.

Цифровые интерфейсы обоих ПАО в составе АИС используются для связи с соответствующими вычислительными средствами испытательной системы. Одно ПАО в составе АИС выполняет функции контроллера МКО, другое - функции оконечного устройства.

Преимуществом такого сопряжения с троированной магистралью МКО является снятие с разработчиков АИС заботы о поддержании необходимого протокола взаимодействия при передачах информации в мультиплексном канале обмена, о контроле передаваемой информации, состояния ОУ. Все эти вопросы решают специалисты из сервисной службы по внедрению ПАО. На долю разра-

ботчиков АИС остается упрощенный протокол взаимодействия с ПАО по цифровым интерфейсам.

К недостаткам рассмотренной структуры АИС, в части обеспечения интерфейса с МКО, можно отнести громоздкость аппаратных решений.

Более удачное техническое решение для подключения к бортовой троированной магистрали МКО по ГОСТ В 24394-80, реализованное на основе ПЭВМ, приведено на рис. 2.

Все технические характеристики и параметры ПЭВМ должны быть не хуже данных, приведенных на рассматриваемой структуре.



**Рис. 2. Структура интерфейса с бортовой троированной магистралью МКО на основе ПЭВМ**

Производительность ПЭВМ на основе микропроцессорной платформы ISA PENTIUM позволяет обеспечить необходимый протокол взаимодействия с бортовым оборудованием КА по МКО.

Кроме стандартных для персональных компьютеров устройств, таких как монитор SVGA, клавиатура, НЖМД, НГМД 3,5 дюйма, необходимо включить в состав ПЭВМ два модуля связи с МКО, кроссовое устройство для их подключения к мультиплексному каналу обмена, модуль связи с ЛВС Ethernet.

НЖМД предназначается для хранения программ, загружаемых в ОЗУ при включении питания ПЭВМ и при выполнении штатных программ.

НГМД используется для записи и корректировки программ, хранящихся на НЖМД.

Клавиатура и монитор используются при запуске штатных и автономных режимов работы с МКО.

Интерфейс с ЛВС Ethernet позволяет осуществлять обмен информацией с центральными устройствами АИС [2].

На начальных этапах отладки и испытаний КА наземная испытательная система должна брать на себя функции контроллера МКО с переводом бортовой управляющей машины в режим ОУ. По мере необходимости наземное оборудование должно переводиться в режим оконечного устройства (с одновременным переводом бортовой управляющей машины в составе КА в режим контроллера МКО). На всех этапах отладки и испытаний КА желательно иметь в составе АИС аппаратные средства, реализующие функции монитора МКО.

Все перечисленные требования к испытательной системе достигаются включением в состав ПЭВМ двух модулей связи с МКО. Один модуль попеременно выполняет функции контроллера и оконечного устройства. Другой - только функции монитора. Отметим, что информация, принимаемая модулем в режиме монитора, записывается на НЖМД для последующей обработки.

Наличие двух модулей связи с МКО диктуется и необходимостью проверки функционирования наземного оборудования до его подключения к магистрали МКО в составе КА. Один модуль при проверке выполняет функции контроллера, а другой - оконечного устройства.

В итоге, каждый модуль связи с МКО должен обеспечивать:

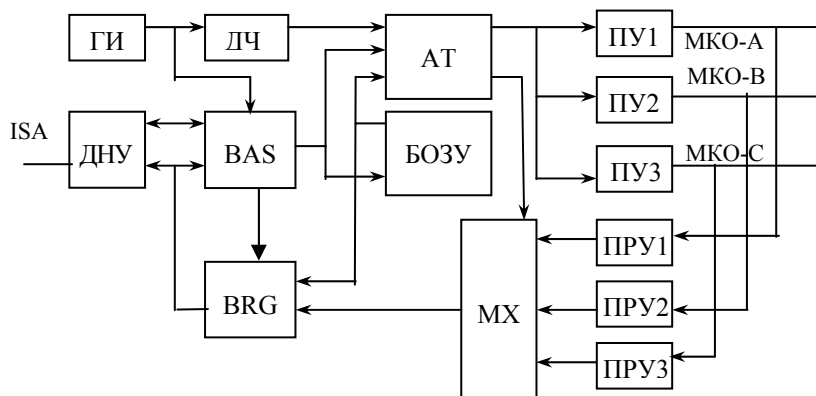
- подключение к магистрали ISA системной платы ПЭВМ;
- функционирование в режимах контроллера, оконечного устройства и монитора МКО (выбор осуществляется программными средствами);
- интерфейс с троированной магистралью МКО по ГОСТ В 24394-80.

Взаимные соединения между выходными разъемами модулей связи с МКО в пределах ПЭВМ выполняет кроссовое устройство. Оно же обеспечивает подключение трех согласующих резисторов

к троированной магистрали со стороны АИС и подвод объединенных цепей к трем выходным разъемам для связи с МКО. Все соединения выполняются витыми парами проводов.

Наиболее полно требования к модулям связи с интерфейсом МКО по ГОСТ В 24394-80 реализуются с использованием плат-адаптеров МКО РС/3. Эти платы проектировались для перевода специализированного диалогового комплекса отладки ПАО на работу от ПЭВМ.

Структурная схема платы-адаптера МКО РС/3 приведена на рис. 3, где ГИ - генератор импульсов; ДЧ - делитель частоты; BAS - адаптер системной магистрали; АТ - адаптер канала обмена; БОЗУ - буферное ОЗУ емкостью 2 К x 16; ПРУ1, ПРУ2, ПРУ3 - приемные устройства; ПУ1, ПУ2, ПУ3 - передающие устройства; МХ - мультиплексор канала; BRG - буферный регистр данных; ДНУ - двунаправленные усилители.



**Рис. 3. Структурная схема платы-адаптера МКО РС/3**

ГИ вырабатывает частоту 8000 Гц, которая поступает на BAS и ДЧ. С выхода ДЧ частота 4000 Гц поступает на вход АТ.

BAS обеспечивает сопряжение с магистралью ISA в составе системной платы ПЭВМ, доступ к БОЗУ и регистрам АТ, управляет информационными обменами в плате.

АТ осуществляет аппаратный контроль обменов по МКО, преобразует 16-разрядные слова в последовательный двухуровневый фазоманипулированный код без возвращения к нулю (и обратно) для передачи в линию (для приема из линии).

АТ аппаратно реализует три вида обменов по МКО: передачу информационного массива от контроллера к ОУ; прием информа-

ционного массива контроллером от ОУ; передачу контроллером команд к ОУ.

БОЗУ предназначено для хранения передаваемой и принимаемой информации из магистрали МКО.

ПУ и ПРУ предназначены для передачи и приема информации из МКО. Отметим, что при передачах информации задействованы все три канала - МКО-А, МКО-В и МКО-С, а при приеме - один из трех упомянутых каналов. Выбор приемного канала осуществляется мультиплексором канала МХ под управлением программно-аппаратных средств в составе РС/3.

BRG используется для временного хранения данных при работе с БОЗУ и АТ.

ДНУ предназначено для сопряжения с магистралью ISA.

При одновременном подключении к магистрали ISA двух плат РС/3 необходимо обеспечить их разную адресацию в магистрали и предусмотреть раздельные шины для передачи сигналов прерывания (достигается это определенными коммутационными изменениями в платах).

Работа плат РС/3 в режимах контроллера, оконечного устройства или монитора задается программными средствами.

Использование современных компьютерных средств и плат-адаптеров РС/3 для связи с бортовой троированной магистралью МКО позволяет избежать каких-либо новых аппаратных разработок при создании соответствующих наземных испытательных систем.

Программное обеспечение для плат РС/3 в составе ПЭВМ, поддерживающее необходимый протокол взаимодействия при передачах информации в МКО, контроль передаваемой информации, состояния ОУ, можно позаимствовать у разработчиков диалогового вычислительного комплекса на основе персонального компьютера, создаваемого для отладки ПАО.

Технические решения, принятые в АИС для сопряжения с бортовой троированной магистралью МКО с использованием ПЭВМ, можно распространить и на создание наземной испытательной системы, связанной с оборудованием КА магистралью МКО по ГОСТ 26765.52-87.

Отличие состоит лишь в типе используемой платы-адаптера. Вместо платы РС/3 предлагается использовать плату РС/3.1. Структурные схемы этих плат почти идентичны.

В составе РС/3.1 имеется не один, а два адаптера АТ (по одному на основной и резервный каналы МКО). Каждый адаптер АТ связан с одним передающим (ПУ) и одним приемным (ПРУ) устройствами. Мультиплексор канала МХ в составе РС/3.1 отсутствует.



В настоящее время в широкой продаже имеется ряд импортных и отечественных плат для работы в составе ПЭВМ с магистралью МКО по ГОСТ 26765.52-87. Основное отличие этих плат - в степени распределения функций между процессором на системной плате компьютерного блока и платами-адаптерами МКО.

Представленная в работе структура интерфейса с бортовой троированной магистралью МКО на основе ПЭВМ была реализована при создании управляющего компьютера стенда управления КА М-3М (УК СтБКУ М-3М).

Одной из функций УК СтБКУ М-3М является организация в реальном масштабе времени управления взаимодействием составных частей стенда УК СтБКУ М-3М и обеспечение интерфейса с бортовой управляющей машиной по МКО.

Использование МКО в составе УК СтБКУ М-3М позволяет провести отработку и отладку аппаратных и программных средств бортового комплекса управления. Положительные результаты этой работы подтверждают целесообразность использования мультимплексного канала информационного обмена бортовых цифровых вычислительных систем для наземных испытаний космических аппаратов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Интерфейсы систем обработки данных / Мячев А.А., Степанов В.Н., Щербо В.К. // М.: Радио и связь. 1989.
2. Архитектура универсальной автоматизированной испытательной системы космических аппаратов на основе современных компьютерных средств / Лукьянов Л.М., Подлесный Э.С., Телепин А.П. // Труды ВНИИЭМ. Т.99. М.: 1999.