

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРИЕМА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ НАЗЕМНЫХ ИСПЫТАНИЯХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Телеметрия занимает одно из важных мест в обеспечении эффективных методов контроля состояния бортовых систем КА, в том числе в процессе наземных испытаний [1]. При проведении наземных испытаний с помощью автоматизированных испытательных систем (АИС) встает проблема организации приема сигналов телеметрической информации (ТМИ).

В настоящее время получила развитие тенденция построения АИС на основе персональных компьютеров (ПК) [2]. Для этих ПК выпускаются различные платы, предназначенные для реализации задач обмена информацией и управления. Несмотря на это, при сопряжении АИС с бортовой аппаратурой телеметрических сообщений (БАТС) разрабатываются специальные средства, включающие в себя сложные специализированные платы, в которых за счет схемных решений реализуются функции, обеспечивающие синхронизацию принимаемой информации, ее декодирование, преобразование и представление в виде, удобном для дальнейшей обработки. В большинстве случаев, разработка этих средств заканчивается выпуском нескольких опытных образцов, потому что они имеют сугубо целевое назначение.

В сложившейся ситуации, при разработке средств приема ТМИ для устройства контроля ИВК-МЗМ КА "Метеор-3М" был выбран путь максимального использования средств вычислительной техники (СВТ) универсального назначения, которые освоены в массовом производстве, и программной реализации функций, которые выполнялись специализированными платами.

ТМИ из БАТС этого КА передается непрерывно, циклически кадрами. Каждый кадр состоит из синхропосылки (пароля), определяющей его начало, длиной 31 бит, командных слов КС1 и КС2, каждое длиной 15 бит, тестового слова ТС длиной 8 бит и информационной части длиной 512 байт.

Она передается последовательным "расщепленным" импульсным кодом, в котором каждый информационный бит передается парой однополярных импульсов, определяющих начало и конец его

передачи (рис.1). Каждый из этих импульсов передается по одной из двух линий связи - каналу "1" и каналу "0". Передаче информационного бита "1" соответствует посылка первого импульса по каналу "1" (начало передачи бита "1"), и второго - по каналу "0" (конец передачи бита "1"), а передаче информационного бита "0" соответствует посылка первого импульса по каналу "0" (начало передачи бита "0") и второго (конец передачи бита "0") - по каналу "1".

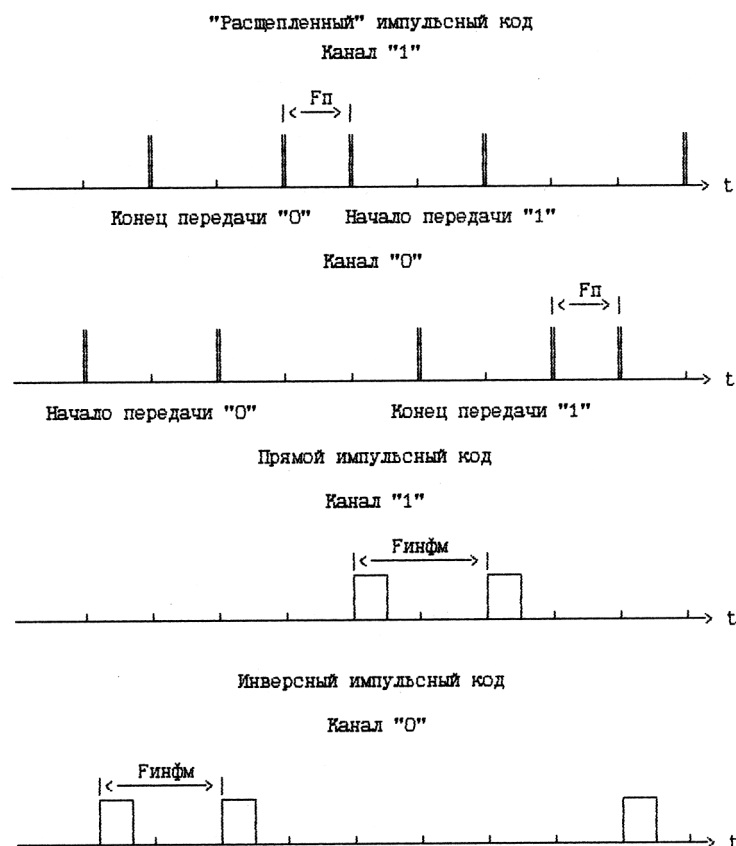


Рис. 1. Преобразование последовательного "расщепленного" импульсного кода в последовательные прямой и обратный импульсные коды при передаче ...00110...

Передача ТМИ может осуществляться расщепленным кодом с одной из трех частот следования импульсов F_{Π} - 64000, 16000 или

2000 Гц (соответственно частоты передачи информационных битов $F_{\text{инфм}}$ - 32000, 8000 или 1000 Гц).

Независимо от частоты следования импульсы имеют амплитуду от 6 до 12 В, длительность от 1,0 до 2,5 мкс, длительность переднего и заднего фронтов на выходе передатчика не более 0,4 мкс.

Сложность реализации приема при заданном способе передачи ТМИ заключается в том, что основным информационным параметром является смена фазы передаваемых импульсов, а также в отсутствии синхронизирующих импульсов, которые определяли бы моменты времени, в которые необходимо производить их считывание.

С целью упрощения, задача приема сигналов ТМИ была расчленена на два этапа. На первом этапе расщепленный импульсный код преобразуется в более удобный для приема числовой двоичный код, а на втором этапе осуществляется прием этого кода с помощью стандартизованного интерфейса.

Наиболее просто расщепленный импульсный код преобразуется в прямой и инверсный последовательные импульсные коды. На рис.1 приведен пример преобразования последовательного "расщепленного" импульсного кода в последовательные прямой и обратный импульсные коды.

В результате преобразования в "Канале 1" формируется прямой код, импульсы которого соответствуют принимаемым информационным битам, имеющим значение "1", а в "Канале 0" - инверсный код, импульсы которого соответствуют информационным битам, имеющим значение "0".

Основные элементы схемы, обеспечивающей преобразование расщепленного импульсного кода в прямой и инверсный последовательные импульсные коды, показаны на рис.2.

Она состоит из двух одинаковых каналов - канала "1" и канала "0". Канал "1" образуется триггером Шмидта ТгШ1, одновибратором Ов1, JK- триггером Т1 и логическими элементами И1 и И3, соответственно канал "0" образуется триггерами Шмидта ТгШ2, одновибратором Ов2, JK- триггером Т2 и логическими элементами И2 и И4.

Триггер Шмидта ТгШ1 в канале "1" (ТгШ2 в канале "0") обеспечивает нормализацию принимаемых импульсов расщепленного импульсного кода по уровню, одновибратор Ов1 (Ов2) расширяет их длительность, триггер Т1 (Т2) обеспечивает соответствующую фазировку выходных импульсов, логические элементы И1 (И2) и И3 (И4) формируют выходные импульсы. Логический элемент ИЛИ формирует синхронизирующие импульсы для обоих каналов.

Длительность импульсов на выходе каждого канала (на выходах логических элементов И3 и И4) равна разности длительностей им-

пульсов, которые формируются соответствующим одновибратором, и синхронизирующих импульсов.

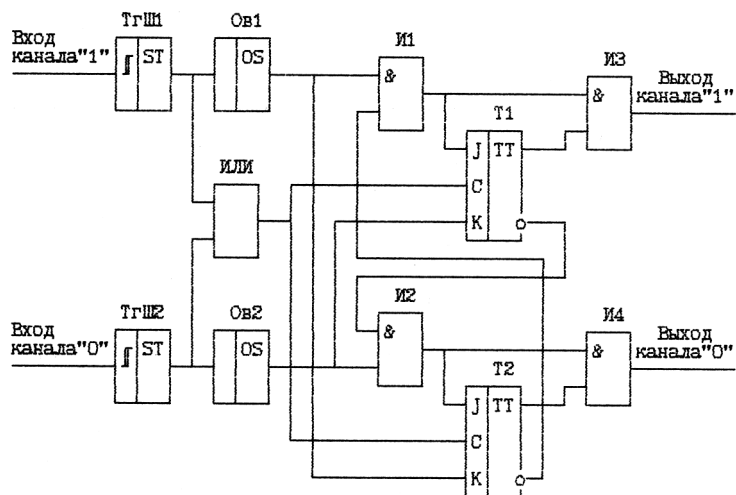


Рис. 2. Схема преобразования расщепленного кода в прямой и инверсный последовательные коды

Эта схема обеспечивает автоматическую фазировку формируемых импульсов прямого и инверсного кодов при изменении значения передаваемого информационного бита (с 1 на 0 или наоборот) в случаях, когда прием начинается после начала передачи ТМИ или при отсутствии импульса на входе любого из каналов.

Прием полученных прямого и инверсного последовательных импульсных кодов можно осуществить посредством организации непрерывного сканирования (опроса) состояния выхода каналов "1" и "0". Для этого необходим интерфейс, порт которого обеспечит одновременный прием двух битов (двухразрядного двоичного числа).

Регистр состояния порта такого интерфейса должен формировать двухразрядное двоичное число, значение старшего разряда которого определяют сигналы на выходе канала "1", а младшего - канала "0".

При опросе регистра состояния порта возможны следующие варианты состояния битов старшего и младшего разрядов:

- оба бита равны нулю - в момент считывания имеют место сигналы низкого уровня в обоих каналах одновременно (отсутствие импульсов), т.е. ситуация, соответствующая паузе в передаче импульсного кода;

- бит в старшем разряде равен единице, а бит в младшем разряде равен нулю - в момент считывания в канале "1" имеет место сигнал высокого уровня (наличие импульса), а в канале "0" - сигнал низкого уровня (отсутствие импульса), т.е. ситуация, соответствующая передаче кода единицы;

- бит в старшем разряде равен нулю, а бит в младшем разряде равен единице - в момент считывания в канале "1" имеет место сигнал низкого уровня (отсутствие импульса), а в канале "0" - сигнал высокого уровня (наличие импульса), т.е. ситуация, соответствующая передаче кода нуля.

Таким образом, при циклическом опросе регистра состояния порта при каждом очередном считывании эти биты будут либо оба нулями, либо один из них единицей. На основании этой информации, в процессе непрерывного опроса регистра состояния порта, формируется информационный байт. Формирование его разрядов производится в тех случаях, когда при очередном опросе один из этих битов становится единицей, в то время как при предыдущем считывании они оба были нулями. В зависимости от того какой из них стал единицей, в младший разряд информационного байта записывается "0" или "1", с одновременным сдвигом в сторону старшего разряда всех его остальных разрядов.

При заданном способе передачи ТМИ из-за того, что синхронизация процесса приема возможна только посредством распознавания синхропосылки (пароля), определяющей начало каждого передаваемого кадра, пропуски принимаемых битов не допустимы так, как количество принимаемых информационных битов (длина кадра) постоянно и может быть определено только их подсчетом. В случае, когда по каким-либо причинам в любом из каналов очередной импульс расщепленного кода не появится, сформированный на их выходе информационный бит будет неправильным (недостоверным), а количество передаваемых в кадре информационных битов уменьшится. Поэтому одним из методов контроля достоверности принимаемых информационных битов является слежение за своевременностью их прихода.

Для этого в процессе формирования информационных байтов, после записи в них каждого очередного информационного бита, производится подсчет количества выполненных опросов.

Суммарное время, затрачиваемое на выполнение записи информационного бита и на выполнение определенного количества опросов, используется в качестве эталона для определения своевременности прихода очередного информационного бита. При этом каждой из трех частот передачи ТМИ соответствует свое количество опросов.

Поэтому, если по окончании выполнения заданного количества опросов импульс ни в одном из каналов не появился, то для того чтобы не было пропуска принимаемой информации, в соответствующий разряд формируемого байта записывается бит, равный 0.

Для того чтобы отличить такой недостоверный бит от достоверного, одновременно с информационным байтом формируется служебный байт, у которого в тот же разряд, записывается бит равный 1, если принимаемый импульс пришел до окончания выполнения заданного количества опросов, и бит равный 0, если по выполнении заданного количества опросов импульс ни в одном из каналов не появился.

Из служебных и информационных байтов формируются двухбайтовые слова, в которых первый байт - служебный, а второй - информационный. Первый - служебный байт характеризует достоверность приема каждого бита второго - информационного байта.

Биты служебного байта, имеющие значение "1", свидетельствуют, что соответствующие биты информационного байта были приняты достоверно. Например слово FFDA (в двоичной системе 11111111 11011010) состоит из служебного байта FF, в котором отсутствуют биты 0, и информационного байта DA, все биты которого приняты достоверно.

Появление в служебном байте бита, имеющего значение "0", указывает, что соответствующий бит информационного байта недостоверен. Например слово EBCA (в двоичной системе 11101011 11001010) состоит из служебного байта EB, в котором пятый и третий биты равны нулю, что является указанием на то, что пятый и третий биты (подчеркнуты) информационного байта CA приняты недостоверно.

Техническая реализация канала приема ТМИ была выполнена на основе ПК с использованием двух плат: специализированной, которая решает задачу преобразования расщепленного кода в прямой и инверсный коды, и покупной, с помощью которой осуществляется прием, формирование и запоминание принимаемой ТМИ под управлением специально разработанного программного обеспечения.

Для реализации схемы, обеспечивающей преобразование расщепленного кода в прямой и инверсный коды, была разработана плата UC02. Эта плата предназначена для установки в разъем шины ISA объединительной панели ПК, от которой она получает только питание и других связей с ней не имеет.

При выборе покупной платы учитывались два основных фактора.

Первый - она должна иметь интерфейс, который обеспечивает прием по уровню и скорости поступления импульсов прямого и

инверсного кодов изложенным выше способом. Для реализации предложенного способа приема сигналов ТМИ подходят как параллельный интерфейс, так и последовательный типа RS-232.

Второй - она должна освободить центральное процессорное устройство (ЦПУ) ПК от выполнения таких рутинных операций, как непрерывный опрос выходов преобразующей схемы, определение факта передачи информационного бита, опознавание синхропосылки, формирование информационных байтов и их покадровая запись в оперативную память, иначе у него не останется времени на обработку принимаемой информации и выполнение других управленческих задач. Для этого она должна иметь в своем составе, кроме необходимого интерфейса, процессор, двухпортовое ОЗУ, обеспечивающее запись и считывание из него информации как собственным процессором, так и ЦПУ.

Из СВТ, предназначенных для установки в ПК, с перечисленными функциональными возможностями в настоящее время выпускаются платы только с последовательным интерфейсом типа RS-232.

Для реализации канала приема ТМИ было выбрано устройство C218Plus [3], выпускаемое фирмой Advantech (Тайвань). Это устройство является интеллектуальной 8-канальной платой последовательного интерфейса RS-232, с интерфейсом для обмена информацией с ЦПУ по шине ISA. Оно построено на основе процессора 80286 (12 МГц), который управляет УАПП с RISC-архитектурой типа CD180, и имеет двухпортовое ОЗУ объемом 512 кбайт, которое используется для хранения и исполнения программ и данных и располагается в адресном пространстве ЦПУ.

Один из портов (порт1) этого устройства использовался для приема прямого и инверсного кодов. Выходы каналов "1" и "0" схемы преобразования подключались, соответственно, к входам последовательного порта, предназначенным для приема служебных сигналов DCD1 ("Контроль приема") и CTS1 ("Готовность к передаче").

Управление устройством C218 Plus осуществлялось, с помощью специально разработанной программы (драйвера), которая загружается в его двухпортовое ОЗУ и реализует алгоритм приема и записи ТМИ. Этот драйвер обеспечивает:

- непрерывный опрос регистра состояния порта;
- преобразование считанного кода в информационные биты и формирование из них информационных байтов;
- распознавание синхропосылки (пароля), определяющей начало каждого передаваемого кадра;
- фиксацию сбоев в передаче (отсутствие информационного бита в течении периода, определяемого заданной частотой передачи) посредством формирования служебных байтов;

- формирование слов, состоящих из служебного и информационного байтов, в которых каждый бит служебного байта характеризует достоверность приема соответствующего бита информационного бита;
- формирование кадров из слов, состоящих из служебного и информационного байтов;
- определение конца каждого передаваемого кадра;
- поочередную запись сформированных кадров в один из двух массивов двухпортового ОЗУ устройства C218 Plus;
- выдачу сигнала прерывания по окончании приема очередного кадра и указание адреса массива, в который он записан;
- настройку на заданные частоту передачи и пароль;
- формирование слова состояния, используемого тестом для анализа состояния канала приема ТМИ, включая определение факта функционирования драйвера и наличия передачи от БАТС.

В целях обеспечения автономной проверки правильности функционирования канала приема ТМИ была разработана специальная программа (тест), позволяющая использовать один из портов последовательного интерфейса ЦПУ в качестве имитатора сигналов БАТС. Для имитации сигналов ТМИ используются служебные разряды DTR ("Терминал готов") и RTS ("Запрос на передачу") интерфейса RS-232.

Автономная проверка правильности функционирования канала приема ТМИ заключается в приеме от порта последовательного интерфейса ЦПУ сигналов, имитирующих передачу ТМИ, и последующей оценке правильности принятой информации. Она проводится при отключенном кабеле связи с БАТС, вместо которого устанавливается заглушка, обеспечивающая необходимые соединения выходных цепей порта ЦПУ, имитирующего сигналы БАТС, с входными цепями каналов "1" и "0" схемы преобразования импульсных кодов.

Тест обеспечивает:

- интерактивный режим работы оператора;
- проверку, изменение и исправление неправильно набранной информации, а также блокировку ввода непредусмотренных символов;
- управление режимами работы драйвера;
- настройку частот приема;
- оценку состояния канала приема ТМИ;
- задание параметров приема драйвера (настройку на информационные частоты передачи 32, 8 и 1 кГц, изменение пароля);
- имитацию передачи БАТС - передачу от 1 до 15 кадров, с заданными параметрами (код КС1, КС2 и ТС, длина и содержание передаваемых кадров);

- считывание двух кадров из двухпортового ОЗУ устройства C218 Plus в ОЗУ ЦПУ, содержащих информацию, принятую драйвером от БАТС или от имитатора БАТС;

- просмотр двух кадров, считанных из двухпортового ОЗУ устройства C218 Plus и содержащих информацию, которая представлена в виде шестнадцатиричных чисел.

Номер кадра	Номер байта	Помеха	Код
0000	КС 1-1	7F	70
0000	КС 1-2	FF	70
0000	КС 2-1	7F	7F
0000	КС 2-2	FF	FF
0000	ТС	FF	55
0000	0001d 0001h	FF	AA
0000	0002d 0002h	FF	AA
0000	0003d 0003h	FF	AA
0000	0004d 0004h	FF	AA
0000	0005d 0005h	FF	AA
0000	0006d 0006h	FF	AA
0000	0007d 0007h	FF	AA
0000	0008d 0008h	FF	AA
0000	0009d 0009h	FF	AA
0000	0010d 000Ah	ED	A8
0000	0011d 000Bh	FF	AA

Рис. 3. Представление на экране монитора первых шестнадцати строк кадра

На рис. 3 показан пример представления ТМИ на экране монитора тестовой программой. Каждый кадр ТМИ выводится на экран монитора последовательно фрагментами по шестнадцать строк.

В каждой строке выводится: в графе "Номер кадра" - номер последнего (0000) или предыдущего (0001) принятого кадра, в графе "Номер байта" - наименование информационного байта (КС 1-1 старшая и КС 1-2 младшая половина для КС1 и, соответственно, КС 2-1 и КС 2-2 для КС2, а также ТС) или его порядковый номер в кадре в десятичной и шестнадцатиричной системах счисления, в графе "Помеха" - служебный байт, характеризующий достоверность приема битов информационного байта, и в графе "Код" - информационный байт.

Наличие кода FF в графе "Помеха" показывает, что в соответствующих информационных байтах отсутствуют недостоверно принятые биты, наличие в этой графе кода ED свидетельствует, что биты (второй и пятый) информационного байта в строке 0010d недостоверны. Исключение составляют служебные байты в строках КС 1-1 и КС 2-1, информационные байты в них не имеют недо-

верно принятых битов, а нули в старших разрядах их служебных байтов обусловлены тем, что и КС 1, и КС 2 имеют длину в 15 двоичных разрядов, не кратную целому байту.

Для устройства контроля ИВК-МЗМ были изготовлены два комплекта канала приема ТМИ, которые показали высокую надежность. При их опытной эксплуатации в течении двух лет не было зафиксировано ни одного сбоя или отказа.

Изложенный метод позволил построить канал приёма сигналов ТМИ на основе ПК, используя в качестве основного технического средства серийно-выпускаемую плату С218-Plus. Доля затрат на разработку специализированной платы, простейшей по своей конструкции и содержащей несколько недорогостоящих электронных элементов, составила существенно малую часть от объёма и стоимости всей разработки, так как ей было оставлено выполнение только одной ограниченной функции - преобразование импульсных кодов. При этом затраты на разработку переместились в сторону программирования.

Программные средства канала приема сигналов ТМИ - драйвер и тест обеспечили реализацию таких функций, как: определение достоверности каждого принимаемого информационного бита, контроль состояния линии связи с БАТС, оперативное изменение параметров, определяющих режим приёма сигналов ТМИ от БАТС, организация тестирования канала приема ТМИ с помощью порта последовательного интерфейса ПК, используемого в качестве имитатора сигналов БАТС.

Предлагаемый подход к построению канала приема ТМИ позволяет увеличить число выполняемых функций, в том числе качественно новых, которые невозможно реализовать схемными методами, а также придать им за счет программных средств большую гибкость, обеспечивающую возможность оперативно настраивать канал приема ТМИ в соответствии с изменениями параметров передачи и использовать ПК с разной производительностью, без доработки используемых технических и программных средств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизированные испытательные системы - основа эффективных методов контроля космических аппаратов метеорологического и природно-ресурсного назначения / Адасько В.И., Долкарт В.М., Лукьянов Л.М., Телепин А.П. // Электротехника. 1991. № 9.
2. Архитектура универсальной автоматизированной испытательной системы космических аппаратов на основе современных компьютерных средств / Лукьянов Л.М., Подлесный Э.С., Телепин А.П.//Труды ВНИИЭМ. М.: 1999. Т.99.
3. Каталог продукции фирмы Advantech. Издание фирмы ProSoft. М.: 1998.