

БОРТОВАЯ СИСТЕМА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Валерий Блинов

«Comelpro» SRL, Кишинэу, Молдова

office@comelpro.com

Михаил Владов

Технический университет Молдовы, Кишинэу, Молдова

mvladov@adm.utm.md

Abstract — В докладе приведено описание Бортовой системы телеметрического контроля (БСТК) предназначенной для сбора, обработки, запоминания и передачи по 2-м радиолиниям телеметрической информации на наземные командно-телеметрические станции.

Index Terms — Бортовое антенно-фидерное устройство, бортовая система телеметрического контроля, передающее устройство

ВВЕДЕНИЕ

В настоящем докладе описана Бортовая система телеметрического контроля (БСТК) предназначенная для сбора, обработки, запоминания и передачи по 2-м радиолиниям, телеметрической информации на наземные командно-телеметрические станции (НКТС).

I. НАЗНАЧЕНИЕ, СОСТАВ, ХАРАКТЕРИСТИКИ

БСТК обеспечивает сбор, обработку, запоминание и передачу по 2-х канальной радиолинии на НКТС результатов телеизмерений функциональных медленноменяющихся (ММП) и быстроменяющихся параметров (БМП) и цифровой информации от бортового вычислительного комплекса (БВК) и цифровых датчиков космического аппарата (КА).

Бортовая система телеметрического контроля включает в своем составе следующие устройства (см. ПРИЛОЖЕНИЕ А):

- бортовой комплекс телеметрии БКТМ;
- передающее устройство L-диапазона—прибор ПМ;
- передающее устройство S-диапазона—прибор ПД;
- бортовое антенно-фидерное устройство L-диапазона— ФУ- L;
- бортовое антенно-фидерное устройство S -диапазона – АФУ- S.

Анализ технических требований, предъявляемых к бортовой системе телеметрического контроля, позволяет определить следующие обобщающие требования к системе в целом:

- одновременное измерение множества разнообразных физических величин;
- высокая точность передачи данных- относительная погрешность для каналов измерений составляет - 0,5% для ММП и 7% для БМП;
- обеспечение одновременной передачи и приема сообщений с разнообразным диапазоном частот- от единиц до десятков тысяч Гц;
- высокий объем и высокая скорость передачи информации - максимальная информативность системы составляет 1,6 Мбит/с;
- высокие требования к БСТК в связи со специфическими условиями работы телеметрируемого изделия на всех участках и режимах работы;
- информационная гибкость—изменение скорости передачи информации;
- регистрация данных наземными устройствами в форме, удобной для анализа и дальнейшей обработки на ПК;
- оперативная выдача экспресс-информации об изменении ряда наиболее существенных параметров;
- обработка полного объема информации с помощью ПК.

В основу построения БКТМ положена магистрально-модульная схема сбора и передачи телеметрических измерений с адресным опросом измерительных каналов. Управляющим элементом приборов является «цифровой автомат» (расположен на модуле ЦП) на

основе программируемой логической матрицы (ПЛИМ) фирмы "Altera".

Модуль ЦП обеспечивает:

- сбор информации от всех измерительных каналов по одной из программ, находящейся в ПЗУ;
- формирование внутреннего и внешнего кадра БКТМ;
- формирование ряда служебных команд для управления другими устройствами системы;
- управление ПЗУ, определяющего последовательность и частоты опроса измерительных каналов;
- управление ОЗУ, обеспечивающим формирование задержанной информации;
- обмен сигналами с бортовым вычислительным комплексом (БВК).

Работа БСТК осуществляется следующим образом:

На входы приборов БКТМ поступают сигналы от телеметрических датчиков, которые в соответствии с программой телеметрических измерений осуществляют сбор, обработку, запоминание и передачу по 2-м радиоканалам телеметрической информации (ТМИ), представленной потоком двоичных цифровых сигналов. Два выхода БКТМ используются для выдачи видеосигнала телеметрической информации на передающие устройства ПМ и ПД, третий выход предназначен для выдачи видеосигнала на контрольно-проверочную аппаратуру (КПА). Прибор ПМ осуществляет передачу телеметрической информации в L – диапазоне на одной из следующих частот: 390 МГц, 395 МГц, 400 МГц. Прибор ПД осуществляет передачу ТМИ в S–диапазоне на частоте 2257,5 МГц.

Модуль ВЧ прибора ПМ обеспечивает преобразование модулирующего видеосигнала в квадратурный фазоманипулированный QPSK ВЧ сигнал. Модуль СВЧ прибора ПД обеспечивает преобразование модулирующего видеосигнала в квадратурный фазоманипулированный QPSK СВЧ сигнал. Модули питания обеспечивают выдачу необходимых напряжений для модуля ВЧ и модуля СВЧ приборов ПМ и ПД соответственно. Приборы ПМ и ПД обеспечивают выполнение внешней команды "Выключение генерации", при этом мощность несущей выходного сигнала становится равной 0. Выходные сигналы приборов ПМ и ПД поступают на бортовые антенно-фидерные устройства L и S диапазонов соответственно. Бортовые антенно-фидерные устройства L и S диапазонов предназначены для излучения сигналов на наземные командно-телеметрические станции.

Прибор БКТМ обеспечивает:

- сбор и преобразование сигналов от датчиков физических величин;
- сбор и преобразование сигналов от схемных датчиков;
- дискретизацию входных измерительных сигналов и их временное уплотнение;
- формирование сигналов служебной информации для синхронизации работы НКТС;
- формирование кода бортового времени;

- формирование полного выходного кадра (видеосигнала), выдачу его одновременно на два передатчика (ПД и ПМ) и на контрольный выход;
- запись регистрируемой ТМИ в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) с возможностью ее последующего воспроизведения через заданный интервал времени—20 секунд и объединения с непосредственно передаваемой ТМИ в выходном кадре;
- питание отдельной датчиковой аппаратуры, подключенной ко входам БКТМ;
- прием и обработку внешних управляющих сигналов;
- обмен сигналами с бортовым вычислительным комплексом (БВК).

Прибор БКТМ обеспечивает телеметрирование параметров, указанных в программе телеизмерений, в том числе:

- аналоговых непрерывных параметров (АНП) - 9 каналов с частотой опроса 128 Гц и 3 канала с частотой опроса 2048 Гц. Максимальная амплитуда входного сигнала $\pm 2,5$ В;
- быстроменяющихся параметров (БМП) - 4 канала с частотой опроса 2048 Гц. Максимальная амплитуда входного сигнала $\pm 2,5$ В;
- аналоговых параметров по изолированным каналам (ИЗК)-3 канала с частотой опроса 128 Гц и максимальной амплитудой входного сигнала ± 30 В, 4 канала с частотой опроса 512 Гц и максимальной амплитудой входного сигнала $\pm 2,5$ В, 4 канала с частотой опроса 512 Гц и максимальной амплитудой входного сигнала ± 10 В;
- релейных сигнальных параметров (РСП) -16 каналов с частотой опроса 32 Гц. Максимальная амплитуда входного сигнала ± 30 В;
- однобитных параметров (ОБП)-12 каналов с частотой опроса 1024 Гц. Уровни входного сигнала—TTL;
- цифровых параметров (ЦВП)- 3 канала с частотой опроса 16384 Гц, уровни входного сигнала—TTL;
- сигналов от бесплатформенной инерциальной системы (БИНС)-32 канала с частотой опроса 2048 Гц. Уровни входного сигнала—TTL;
- сигналов от спутниковой навигационной системы (СНС) по интерфейсу NMEA 0183;
- 7-и разрядный канал с частотой опроса 512 Гц.

Блок БКТМ (см. рис.1) состоит из модулей сбора и преобразования телеметрических измерений(2) и модуля питания (1). Модули состоят из унифицированного каркаса прямоугольной формы, к которому с помощью винтов крепится печатная плата. Для обеспечения теплового режима модуля электрорадиоэлементы, выделяющие наибольшее количество тепла, устанавливаются на теплопроводящую шину, расположенную на печатной плате и плотно прилегающую к каркасу модуля. Через разъемы к блоку подключаются кабели от первичных датчиков и преобразователей.

Через разъем подводятся питание от внешнего источника питания. Межмодульная коммутация в блоке осуществляется с помощью разъемов, установленных на печатной плате. Механическое соединение модулей осуществляется между собой с помощью винтов. Блок на КА должен устанавливаться на металлической плите, выполняющей роль радиатора.

Масса прибора - не более 3,5 кг;

Габаритные размеры - 227 x 48 x 131мм

Установочная площадь не более – $3,3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$.

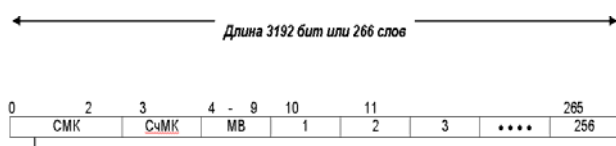
Внешний вид бортового комплекса телеметрии БКТМ приведен на рис.1



Рис.1 Внешний вид бортового комплекса телеметрии БКТМ

Данные с выхода БКТМ передаются в формате IRIG 106-96, класс I.

Служебные слова и слова данных объединяются в младшие кадры. Младший кадр определяется как структура данных от начала комбинации синхронизации младшего кадра до начала комбинации синхронизации следующего младшего кадра (см. рис.2).



СМК – синхронизатор младшего кадра (3 слова);
 СчМК – счетчик младших кадров (1 слово);
 МВ –метка времени (6 слов);
 1...256 –слова данных.

Рис.2 Структура младшего кадра

В состав младшего кадра входят:

- синхронизирующая последовательность (0...2-е слова),
- счетчик младших кадров (3-е слово),
- метка времени (4-е...9-е слова),
- слова данных (10-е...265-е слова).

Слова в пределах младшего кадра нумеруются слева направо от 0 до 265.

Синхронизирующая последовательность состоит из трех фиксированных слов.

Счетчик младших кадров представляет собой счетчик, обеспечивающий естественный двоичный счет, соответствующий номеру младшего кадра в пределах старшего кадра.

После достижения максимального значения, СчМК устанавливается в начальное состояние.

Метка времени представлена 3-я словами времени, каждое из которых состоит из двух 12-и разрядных слов младшего кадра. Всего метка времени занимает 6 слов младшего кадра. Слова времени обозначены как "старший разряд", "младший разряд" и "микросекунда". Слово времени "микросекунда" имеет разрешающую способность 1 микросекунду. Слово времени "младший разряд" имеет разрешающую способность 10 миллисекунд. Так же в этом слове передаются разряды, кратные значениям 0,1 секунды, 1 секунда, 10 секунд. Данные в "младшем разряде" передаются в двоично-десятичной форме.

Младшие кадры объединяются в старшие кадры. Количество младших кадров в старшем кадре зависит от информативности БКТМ (см. таблицу 1).

Таблица 1

Зависимость количества младших кадров в старшем кадре от информативности БКТМ

Информативность изм. слов/сек	Количество младших кадров в старшем кадре
131072	128
65536	64
32768	32
16384	16

Первый младший кадр в старшем кадре должен иметь номер "ноль". Каждый последующий младший кадр должен нумероваться последовательно в пределах старшего кадра.

Для любой информативности длительность старшего кадра равна 0,25 секунды.

Скорость передачи служебной информации определяется по формуле:

$$V_{\text{изм}} = 4 * N_{\text{слж}} * N_{\text{МК}}$$

где,

$N_{\text{слж}}$ – количество служебных слов в младшем кадре;

$N_{\text{МК}}$ – количество младших кадров в старшем кадре.

Прибор ПД (S-TMTR)

Прибор ПД предназначен для передачи на несущей частоте информации, представленной потоком двоичных цифровых сигналов.

Основное назначение прибора – работа в составе бортовой системы телеметрического контроля.

Внешний вид прибора ПД показан на рис.3.



Рис. 3 Внешний вид прибора ПД.

Основные технические характеристики прибора

ПД

1. Частота несущей сигнала - $2257,5 \pm 0,045$ МГц.
2. Отклонения несущей частоты сигнала от номинального значения - не более $\pm 0,002\%$.

3. Прибор выдает в нагрузку с сопротивлением $R_n=50$ Ом модулированный высокочастотный сигнал. Тип модуляции- QPSK.

4. Прибор обеспечивает требуемые параметры при коэффициенте стоячей волны и напряжения в нагрузке (КСВН) не более 1,54 и сохраняет работоспособность при КСВН не более 2,5.

5. Мощность выходного сигнала прибора (10 ± 2) Вт и (5 ± 1) Вт. Варианты исполнения прибора предусматривают несущую частоту сигнала (F), мощность и индекс информативности потока в соответствии с шифром.

6. Напряжение внешнего источника питания постоянного тока прибора - 24_{-2}^{+4} В.

7. Ток, потребляемый прибором от источника питания (24_{-2}^{+4}) В – не более 3 А.

8. Мощность, потребляемая от источника питания (24_{-2}^{+4}) В - не более 72 Вт.

9. Уровень побочных излучений относительно уровня немодулированной несущей сигнала не более:

- при мощности прибора $P=5$ Вт (минус 62 дБ);
- при мощности прибора $P=10$ Вт (минус 65 дБ), что соответствует уровню излучений не более минус 25 дБ.

11. Выключение излучения прибора осуществляется соединением между собой цепей «Off Gen +» и «Off Gen -».

12. Прибор соответствует требованиям не более чем через 20 с после подачи на него питания и входных сигналов.

13. Масса прибора - не более $(2,2 \pm 0,2)$ кг.

14. Объем прибора - не более $1,8$ дм³.

15. Габаритные размеры прибора - $(192 \times 159,5 \times 58,5)$ мм.

17. Прибор соответствует заданным требованиям при непрерывной работе в течение двух часов при условии его установки на теплоотводящую поверхность, обеспечивающую температуру перегрева корпуса прибора не более 15 ± 5 °C.

Прибор ПМ (L-TMTR).

Предназначен для передачи на несущей частоте информации, представленной потоком двоичных цифровых сигналов. Внешний вид прибора ПМ показан на рис.4.

Основное назначение – работа в составе бортовой системы телеметрического контроля.

Основные технические характеристики прибора ПМ

1. Масса прибора - не более 1,2 кг.
2. Объем прибора - не более 0,73 дм³.
3. Габаритные размеры прибора - $(135 \times 135 \times 40)$ мм.
4. Прибор выдает в нагрузку $R_n=50$ Ом модулированный высокочастотный сигнал. Тип модуляции - QPSK.

5. Прибор обеспечивает требуемые параметры при коэффициенте стоячей волны и напряжения в нагрузке (КСВН) не более 1,4 и сохраняет работоспособность при КСВН не более 2,5.
6. Мощность выходного сигнала прибора ПМ (5 ± 1) Вт или (10 ± 2) Вт.
7. Отклонения частоты сигнала от номинального значения - не более $\pm 0,002\%$.
8. Напряжение внешней питающей сети постоянного тока прибора составляет от 22 до 28 В.
9. Ток, потребляемый прибором от источника питания - не более 2 А.
10. Уровень побочных излучений относительно уровня немодулированной несущей сигнала не более:
 - при мощности передатчика $P=5$ Вт (минус 62 дБ);
 - при мощности передатчика $P=10$ Вт (минус 65 дБ), что соответствует уровню излучений не более минус 25 дБВт.
11. 99% мощности выходного сигнала сосредоточено в пределах полосы $9,65 F_B$ (F_B - скорость передачи).
12. Выключение излучения прибора осуществляется соединением сигнала «Off Gen» с минус 24В.

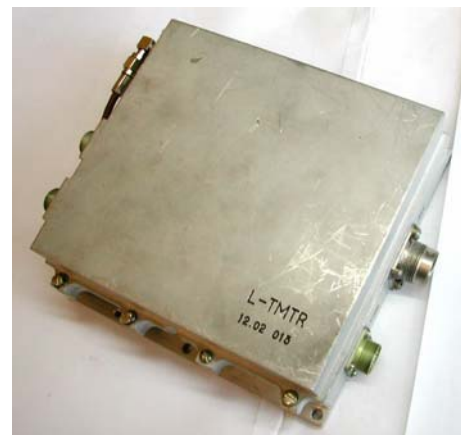


Рис. 4 Внешний вид прибора ПМ.

Бортовые антенно-фидерные устройства

Бортовые антенно-фидерные устройства L- и S-диапазонов предназначены для преобразования электрических сигналов бортовых передатчиков ПМ и ПД в электромагнитное поле, излучаемое в эфир.

Технические данные.

1. Полоса рабочих частот:
 - $(385 \div 405)$ МГц для L-диапазона;
 - $(2257,5 \pm 3,5)$ МГц для S-диапазона.
2. Волновое сопротивление - 50 Ом.
3. Коэффициент бегущей волны (КБВН) - не менее 0,75.
4. Коэффициент полезного действия - не менее 0,8.
5. Устойчивость к механическим и климатическим внешним воздействиям:
 - вибрации $(10 \div 2500)$ Гц;

- линейные перегрузки до 12 g;
 - удары, продолжительностью до 10 мс с ускорением до 20g;
 - окружающая температура от минус 40 °С до плюс 55 °С;
 - атмосферное давление $(1 \cdot 10^{-6} \div 1600)$ мм рт. ст.
6. Масса:
- $(0,4 \pm 0,05)$ кг для антенны L-диапазона;
 - $(1,0 \pm 0,1)$ кг с согласующим устройством и кабелями с разъемами для антенны S-диапазона.
7. Излучение радиосигналов – направленное.
8. Вероятность безотказной работы - 0,999.

Внешний вид антенны S-диапазона и антенны L-диапазона представлен на рис. 5 и рис.6 соответственно.

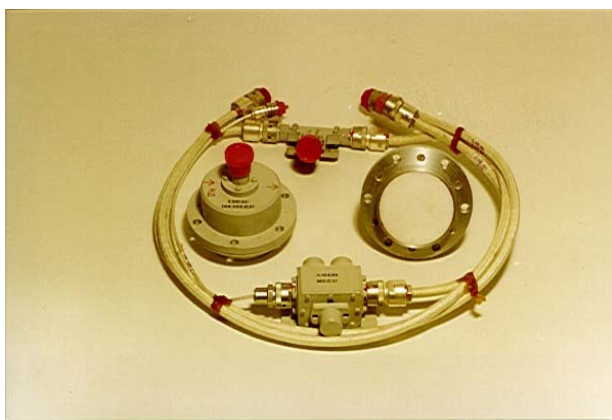


Рис. 5 Внешний вид антенны S-диапазона.



Рис. 6 Внешний вид антенны L-диапазона.

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. ПРИЛОЖЕНИЕ А . Структурная схема БСТК.

ССЫЛКИ

- [1] IEEE Ion Bostan, Mihail Vladov, Valeriu Dulgheru, Igor Mardare, et al “Moldavian Microsatellite”- Aerospace project launched at the Technical University of Moldova.– UNIVERSITAT SIEGEN Institut fur Digitale Kommunikationssysteme Wissenschaftliches Kommunikations-und Sicherheitskolloquium, 2009.p.161-170.
- [2] Назаров А.В., Козырев Г.И., Шитов И.В. и др. Современная телеметрия в теории и на практике. Учебный курс. Санкт- Петербург. Наука и техника, 2007.- 672с.

Структурная схема БСТК

