

## МОДУЛЬ ОБРАБОТКИ ПОЛЕЗНОЙ ПОЛОСЫ НАЗЕМНОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ

В.В. Евстратько, Н.А. Волков, Т.А. Зубов, И.Ю. Тихоненко, А.С. Камышникова

Научный руководитель: профессор, д.т.н. С. П. Панько

Сибирский федеральный университет,

Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, 660028

E-mail: [evstrafly@gmail.com](mailto:evstrafly@gmail.com)

Командно-измерительная система космического аппарата (КА) состоит из двух основных частей: бортовой аппаратуры командно-измерительной системы (БА КИС) и наземного сегмента командно-измерительной системы (НС КИС) (рис. 1). Для управления КА необходимы система передачи команд управления (КУ) от НС КИС к БА КИС, система передачи телеметрии (ТМ) от БА КИС к НС КИС, и система измерения текущих навигационных параметров (ИТНП). К основным ТНП относят дальность КА относительно центра управления полетом (ЦУП) и его скорость [1].

Функции передачи КУ, приема ТМ, измерения ТНП в составе НС КИС выполняет так называемый модуль обработки полезной полосы (МОПП). На сегодняшний день основным мировым производителем МОПП для КА коммерческого назначения является компания «Zodiac Aerospace» (Франция). Zodiac Aerospace производит прибор «Cortex CRT-Q», стоимость которого достаточно высока. Кроме высокой цены данный прибор не в полной мере отвечает требованиям отечественных пользователей. Исходя из этого, актуальной задачей явилась разработка собственного прибора МОПП, производимого на территории Российской Федерации.

Прототип МОПП выполнен на зарубежной элементной базе. В следующей версии прибора запланирован переход на отечественную элементную базу. На настоящий момент разработана принципиальная схема второй версии прибора. Доля отечественных РЭК в схеме второй версии МОПП составляет 90%. Структурная схема прототипа МОПП, выполненного в соответствии со стандартом CCSDS, показана на рис. 1. CCSDS (Consultative Committee for Space Data Systems) - Международный Консультативный Комитет по космическим системам передачи данных [2].

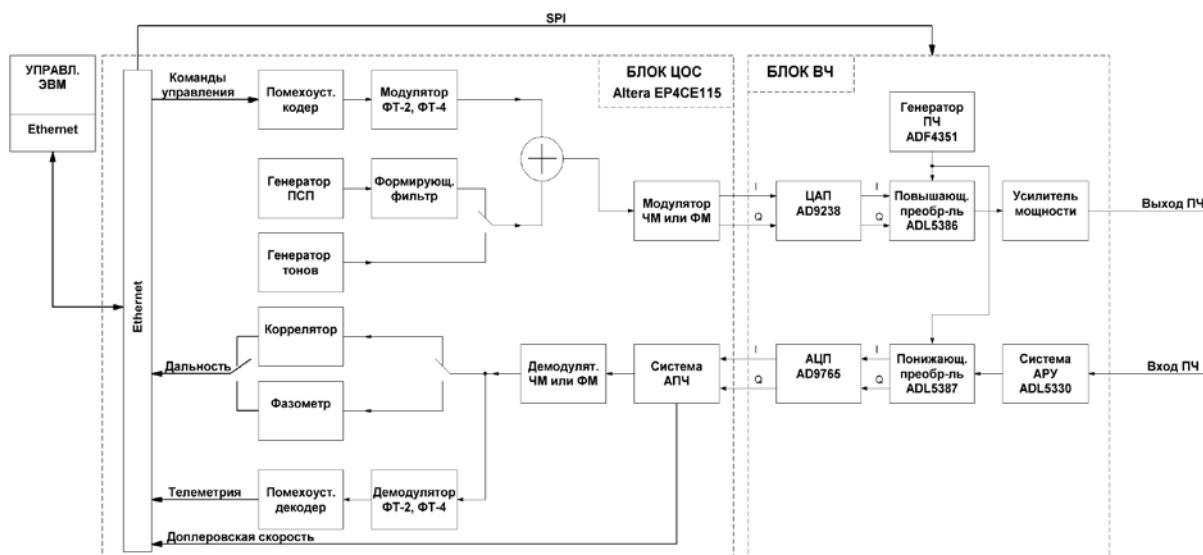


Рис. 1. структурная схема МОПП

Схема состоит из трех основных узлов: управляющая ЭВМ, блок ЦОС, блок ВЧ. Управление режимами МОПП с помощью интерфейса пользователя, формирование данных КУ, анализ данных ТМ и обработку данных ИТНП выполняет управляющая ЭВМ. За обработку

скоростных потоков данных, а также за точные измерения параметров сигналов отвечает блок цифровой обработки сигналов (ЦОС). Цифро-аналоговое, аналого-цифровое, частотное преобразование и усиление сигналов производится в блоке высокой частоты (БЛОК ВЧ). Блок высокой частоты выполнен по схеме с квадратурной обработкой сигналов. Для реализации блока ВЧ выбраны микросхемы фирмы Analog device. Входной сигнал на промежуточной частоте поступает на систему АРУ, выполненную на микросхеме ADL5330. Система АРУ обеспечивает регулировку усиления в пределах 30 дБ. С выхода АРУ сигнал поступает на квадратурный демодулятор, выполненный на микросхеме ADL5387. Демодулятор обеспечивает разложение сигнала на квадратуры I/Q и перенос на нулевую несущую частоту. С выхода демодулятора сигнал поступает на двухканальный АЦП, выполненный на микросхеме AD9765. Данный АЦП преобразует сигналы в полосе до 20 МГц с разрядностью 12 бит. Такие характеристики АЦП дают возможность МОПП работать сразу с несколькими КА одновременно, поскольку полоса принимаемого сигнала с одного КА, согласно требованиям заказчика, не превышает 2 МГц. Это упрощает решение задачи коллокации. В части формирования сигнала применен двухканальный ЦАП типа AD9238, который обеспечивает преобразование сигналов в полосе до 50 МГц и разрядностью 12 бит. Так же, как и в приемном тракте, широкая рабочая полоса ЦАП позволяет формировать сигнал сразу для нескольких КА (согласно требованиям заказчика, полоса передаваемого сигнала на КА не превышает 5 МГц). С выхода ЦАП аналоговый сигнал поступает на квадратурный модулятор сигнала, выполненный на микросхеме ADL5386, в котором осуществляется перенос на промежуточную частоту с последующим усилением сигнала. Несущее колебание формируется при помощи генератора, выполненного на микросхеме ADF4351. МОПП позволяет работать с несущими колебаниями на двух фиксированных частотах: 70 МГц и 950 МГц.

Блок ЦОС реализован на ПЛИС фирмы Altera типа EP4CE115. ПЛИС этой фирмы была выбрана с учетом перехода на отечественные РЭК в следующих моделях МОПП, поскольку отечественные ПЛИС являются аналогами микросхем фирмы Altera. Таким образом, кодовые конструкции, написанные для импортных ПЛИС Altera, могут быть использованы при разработке блока ЦОС на отечественных микросхемах.

МОПП находят широкое применение на внутреннем рынке России. Считая, что в России работает порядка 500 станций управления космическими аппаратами, использующих МОПП, можно заключить, что является актуальной задача разработки отечественного сертифицированного импортозамещающего МОПП. Выпуск такого устройства на внутренний и внешний рынки загрузит производство на 10-12 лет при годичной производительности до 50 прибором при разумной отпускной стоимости.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панько С. П. Измерение дальности космического аппарата // Исследования наукограда. – 2015. – № 4. – С. 10–12.
2. Стандарт CCSDS 401.0-B-20 (Radio Frequency and Modulation Systems - Part 1 Earth Stations and Spacecraft)
3. Карманов Ю.Т., Николаев А.Н., Поваляев С.В. Применение отечественной элементной базы в широкодиапазонных цифровых устройствах обработки и формирования радиосигналов // Вестник ЮУрГУ. – 2015. – Т. 15. – № 3. – С. 57–65.
4. Микрин Е. А. Бортовые комплексы управления космическими аппаратами и проектирование их программного обеспечения. – М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. – 123 с.
5. Сыров. А. С. Бортовые системы управления космическими аппаратами. М.: Издательство МАИ-Принт, 2010. – 245 с.