

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ И КОНТРОЛЯ МНОГОСЕКЦИОННЫХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ АНТЕНН НА БАЗЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

А.Ю. Бухинник, А.М. Иванов, Ю.А. Стефанов, П.Е. Щербатый

Представлены основные результаты разработки принципов построения и структуры системы синхронизации и контроля многосекционных гидроакустических антенн, построенной на базе цифровых волоконно-оптических систем передачи (ВОСП). Система решает задачу взаимной синхронизации процедур дискретизации и аналого-цифрового преобразования гидроакустических сигналов в секциях антенны при минимизации искажений выходного сигнала антенны, обусловленных фазовыми рассогласованиями и фазовыми дрожаниями импульсов дискретизации АЦП секций, а также задачу контроля исправности секций с минимизацией времени переключений на резерв при регистрации аварий. Обсуждается выбор протокола обмена данными по ВОСП, структуры группового цифрового сигнала и метода линейного кодирования, обеспечивающий решение данной задачи.

Ключевые слова: волоконно-оптическая система передачи, гидроакустическая антенна, синхронизация, протоколы обмена, мультиплексирование, линейное кодирование, фазовые дрожания, вероятность ошибки, самоконтроль.

THE PRINCIPLES OF THE SYNCHRONIZATION AND CONTROL SYSTEM FOR MULTIPLE SECTIONS HYDROACOUSTIC ANTENNA BASED ON FIBER OPTIC TRANSMISSION SYSTEMS

Buhinnick A., Ivanov A., Stefanov Yu., Scherbaty P.

Presents the main results of the development of principles of construction and structure of the synchronization and control system for multiple sections hydroacoustic antenna based on the digital fibre-optic transmission systems (FOTS). The system solves the problem of mutual synchronization of procedures for the sampling and analog-to-digital conversion of hydroacoustic signals in the sections of the antenna while minimizing distortion of the output signal of the antenna due to phase misalignments and jitter in pulse sampling ADC sections as well as the task of monitoring the health sections for minimizing the time of switching on the reserve during the registration of accidents. Discusses the selection of data exchange Protocol by the FOTS, the structure of the digital line signal and method of line coding, provides a solution to this problem.

Keywords: fiber-optic transmission system, hydroacoustic antenna, synchronization, communication protocols, multiplexing, line coding, jitter, error probability, self-control.

Специфической областью применения волоконно-оптических систем передачи информации (ВОСПИ) являются гидроакустические станции (ГАС) на базе цифровых гидроакустических антенн (ГАА) [1, 2, 3]. Предметом данной работы является ВОСПИ для системы синхронизации, контроля и управления (СКУ) для ГАС на базе многосекционных гидроакустических антенн.

Структура подобной ГАС включает ГАА, состоящую из N секций, к каждой из которых подключено некоторое множество гидроакустических пьезо-

датчиков, и центр обработки гидроакустических данных (ЦО). В каждой из секций антенны сигналы, снятые с датчиков, оцифровываются схемами АЦП и по линиям цифровой связи передаются в ЦО. Кроме этого, ЦО и секции антенны связывают линии связи системы СКУ. Система СКУ выполняет следующие функции:

- передача от ЦО в секции антенны сигнала частоты дискретизации (СЧД) для АЦП сигналов датчиков;
- передача от ЦО в секции сигнала начальной установки (сброса) АЦП;
- передача от ЦО в секции аналогового стимулирующего сигнала, выполняющего функции калибровки и контроля антенны;
- поддержка служебного канала для передачи от ЦО к секциям команд, а от секций в ЦО контрольной и диагностической информации в спорадическом режиме или по командам от ЦО.

Для применения в ГАС с многосекционными антеннами была разработана система СКУ на базе ВОСПИ, с одномодовым кабелем и с разделением направлений передачи по длине волны 1,3/1,55 мкм. Структурная схема системы представлена на рисунке 1.

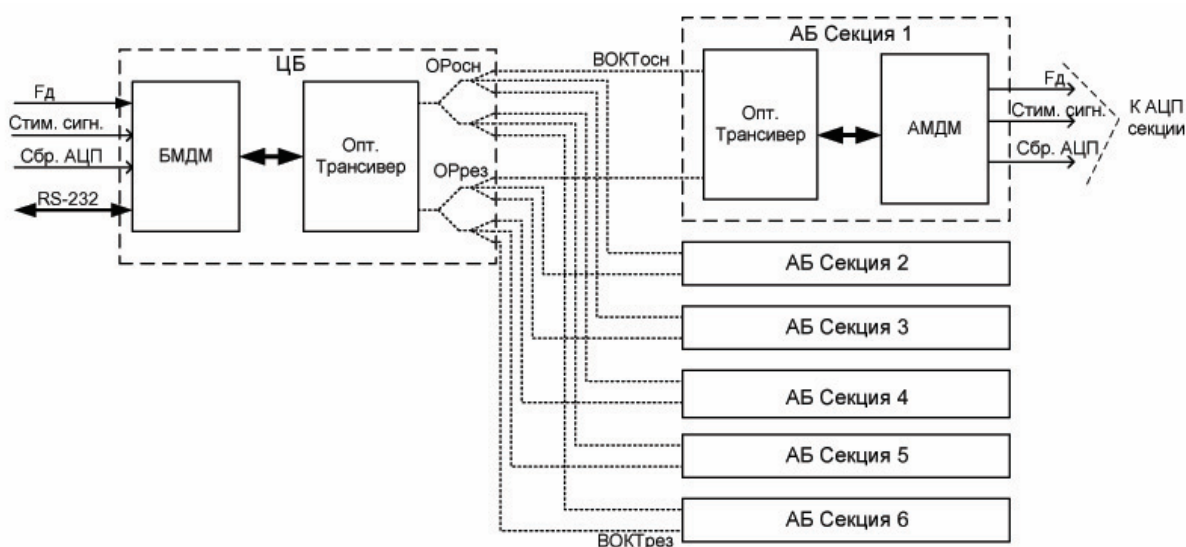


Рис. 1. Структурная схема системы СКУ

В системе имеется центральный блок (ЦБ), антенные блоки (АБ) по числу секций антенны (в разработанном варианте – до 6-ти секций). Каждый из АБ соединен с ЦБ двумя волоконно-оптическими кабельными трактами (ВОКТ): основным и резервным.

Оборудование ЦБ составлено электронным бортовым мультиплексором/демультиплексором БМДМ, оптическим трансивером и двумя оптическими разветвителями (ОРосн и ОРрез) на 6 направлений для подключения к ВОКТосн и ВОКТрез соответственно. В состав оборудования каждого АБ входит электронное устройство антенного мультиплексора/демультиплексора (АМДМ) и оптический трансивер, аналогичный трансиве-

ру ЦБ. В трансивере имеется основной и резервный комплект оптических передатчиков и приемников, которые подключены к, соответственно, основным и резервным оптическим трактам.

На входы ЦБ от центра обработки ГАС для передачи в секции ГАА поступают три сигнала: СЧД, сигнал сброса АЦП и стимулирующий сигнал. Стык RS-232 между ЦО и ЦБ служит для обмена данными по служебному каналу.

Сигнал ЧД представляет собой последовательность импульсов частоты дискретизации АЦП антенны. В зависимости от решаемой задачи гидроакустического обнаружения эта частота F_d может быть в диапазоне 12 кГц...1 МГц. Существенным для системы СКУ являются жесткие требования по синфазности и малым фазовым дрожаниям (не более единиц нс) импульсов дискретизации на входах АЦП секций. Сигналом сброса являются однократные переключения логического уровня на соответствующем входе ЦБ. Стимулирующий сигнал представляет собой аналоговый сигнал в полосе частот 0,1...15 кГц с динамическим диапазоном до 60 дБ.

Для рассматриваемой системы были разработаны протоколы передачи информации и структуры линейных сигналов, основанные на принципе синхронной передачи потоков данных. Для передачи по оптическим трактам СЧД, стимулирующий сигнал и сигнал сброса, а также сигнал служебного канала в БМДМ объединяются в два цифровых информационных потока со скоростями передачи $F_{ип}$ каждый. Побитным мультиплексированием этих двух потоков формируется групповой поток с удвоенной скоростью передачи $2F_{цп}$.

В первом информационном потоке передаются импульсы длительностью в один такт, регистрирующие фронты импульсов исходного сигнала « F_d », и импульсы также длительностью один такт, регистрирующие фронты сигнала «Сбр. АЦП», во втором – оцифрованный стимулирующий сигнал и сигнал служебного канала.

Групповой поток далее кодируется в линейный код «Манчестер». Таким образом, скорость передачи линейного сигнала по оптическому тракту в прямом направлении $F_{л} = 4 F_{ип}$.

Тактовая частота информационных потоков $F_{ип}$ формируется умножением частоты дискретизации в схеме умножения частоты БМДМ (фактически, в умножителе частоты вырабатывается тактовая частота линейного сигнала $F_{л}$, а частота $F_{ип}$ получается последующим делением $F_{л}$ на 4). Номинальное значение $F_{ип} = 6$ МГц и в зависимости от исходной частоты дискретизации может быть в интервале 5,5...6,5 МГц, т. е. $F_{л} = 22...26$ МГц. Таким образом, в данной системе в отличие от традиционных цифровых систем передачи скорость передачи информации по линиям связи не является постоянной величиной, а подстраивается под частоту одного из источников сигнала. Кратность частот $F_{ип}$ и F_d устраняет систематические фазовые дрожания регистрации фронтов исходного СЧД при формировании информационного потока на передачу.

Структуру информационных потоков иллюстрируют временные диаграммы (рис. 2). На рисунке в первом информационном потоке ИП1 имеется последовательность импульсов длительности один такт частоты $F_{ип}$, синхронизиро-

ванная по фронтам исходного сигнала частоты дискретизации F_d . При регистрации схемой БМДМ растущего фронта сигнала «Сбр. АЦП» к очередному импульсу частоты дискретизации в информационном потоке «прилепляется» однокантный импульс команды сброса. На приеме в АМДМ импульсы сброса отделяются от импульсов частоты дискретизации и поступают на соответствующие выходы блока.

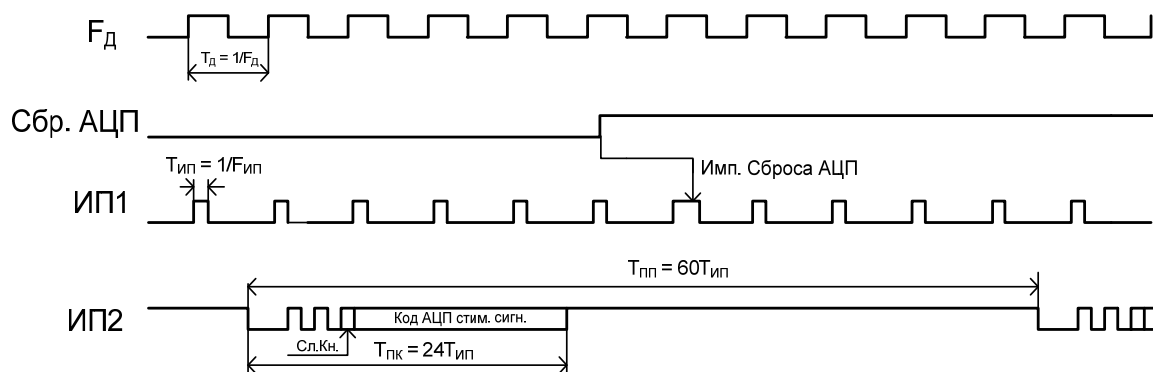


Рис. 2. Временные диаграммы информационных потоков

Второй информационный поток ИП2 имеет структуру синхронной последовательности пакетов данных. Период следования пакетов $T_{пп}$ составляет 60 тактов $T_{ип}$ и соответствует частоте дискретизации стимулирующего сигнала: номинально 100 кГц. Каждый из пакетов содержит 7 бит синхронизирующей преамбулы, один бит сигнала служебного канала Сл.Кн. и 16-ти разрядный код очередного цифрового отсчета стимулирующего сигнала. Паузы между пакетами заполнены сигналом логической «1».

В обратном направлении от АБ к ЦБ передается только информационный поток служебного канала в линейном коде «Манчестер» с фиксированной линейной частотой 24 МГц.

Аппаратно-программными средствами ЦБ и АБ системы осуществляется постоянный контроль исправности основных и резервных оптических трактов. Источниками данных для контроля зарегистрированные нарушения структуры линейного кода на приеме, а также информация об уровнях принимаемого оптического сигнала. При нормальной работе системы оба оптических приемника на ЦБ и на АБ включены постоянно. Так же постоянно включены оба передатчика ЦБ, и на них от БМДМ поступает один и тот же линейный сигнал.

В АБ при нормальной работе оба оптических передатчика выключены и включаются только на время сеансов связи по служебному каналу. На обработку в АМДМ поступает сигнал от основного приемника, в случае пропадания этого сигнала происходит автоматическое переключение на резервный приемник и в ЦБ в спорадическом режиме передается сообщение об аварии оптического тракта. Регистрация аварий посредством анализа структуры кода «Манчестер» в принятом сигнале позволяет минимизировать время переключения на резерв.

Электронные блоки ЦБ и АБ реализованы аппаратно-программным методом на базе ПЛИС серии Max V фирмы Altera [4] и 8-ми разрядных универсальных микроконтроллеров. Умножение частоты дискретизации выполняется микросхемой программируемого преобразователя частоты SI5328 фирмы Silicon Lab [5].

Конструктивно аппаратура АБ выполнена на печатной плате габаритами 150×90 мм, а аппаратура ЦБ – на плате «Евромеханика-6U».

Принципы построения и технические решения, заложенные в разработку, обоснованы результатами лабораторных испытаний системы. В частности, были получены следующие результаты измерений основных параметров системы:

- энергетический запас ВОКТ – 37 дБ;
- вероятность ошибки приема оптического сигнала в ЦБ и АБ – не более 10–11;
- пиковый джиттер СЧД на выходе АБ – 2 нс;
- коэффициент нелинейных искажений стимулирующего сигнала на выходе АБ – не более 0,1 %;
- мощность потребления ЦБ – не более 2 Вт, АБ – не более 1,5 Вт.

Список используемых источников

1. Корякин Ю. А., Смирнов С. А., Яковлев Г. В. Корабельная гидроакустическая техника: состояние и актуальные проблемы. СПб.: Наука, 2004. 410 с.
2. Рубанов И. Л. и др. Волоконно-оптическая система передачи информации для гидроакустической станции с буксируемой антенной // Подводные исследования и робототехника. 2013. № 2. С. 65–69.
3. Бухинник А. Ю., Коровин А. Н., Стефанов Ю. А., Щербатый П. Е. Принципы построения волоконно-оптической системы передачи информации для гидроакустических станций // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. II Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. научных статей. СПб.: СПбГУТ, 2013. С. 684–687.
4. MAX V Device Handbook: Altera, 2011.
5. SI-53xx Family Reference Manual: Silicon Laboratories, 2013.

ПРИМЕНЕНИЕ ДЕЛЬТА-СИГМА МОДУЛЯЦИИ В КЛЮЧЕВЫХ УСИЛИТЕЛЯХ МОЩНОСТИ

А.А. Ганбаев, В.А. Филин

Проанализированы возможности усиления сигнала в ключевых усилителях мощности с использованием дельта-сигма ($\Delta\Sigma$) модуляции. Проведено сравнение спектрального состава прямоугольных колебаний с $\Delta\Sigma$ -модуляцией и широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Дана оценка нелинейных искажений сигнала для обоих случаев. Показано, что применение $\Delta\Sigma$ -модуляции в усилителях мощности на нитрид-галлиевых (GaN) транзисторах позволяет достигать высокого КПД при минимальных искажениях усиливаемого сигнала.