

## ПРЕЦИЗИОННАЯ АВТОНОМНАЯ МОДУЛЬНАЯ 24-Х РАЗРЯДНАЯ СИСТЕМА СБОРА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

В.В. Гравиров<sup>1,2</sup>, к.ф.-м.н., с.н.с. ИТПЗ РАН, вед.инж. ИФЗ РАН, тел.:+7 (903) 744-97-49, [gravirov@mail.ru](mailto:gravirov@mail.ru)  
 К.В. Кислов<sup>1</sup>, к.ф.-м.н., с.н.с. ИТПЗ РАН, тел. +7 (909) 957-13-06, [kvkislov@yandex.ru](mailto:kvkislov@yandex.ru)  
 Д.В. Лиходеев<sup>2</sup>, к.ф.-м.н., с.н.с. ИФЗ РАН, тел. +7 (499) 254-90-80, [dmitry@ifz.ru](mailto:dmitry@ifz.ru)  
 А.С. Нумалов<sup>2</sup>, аспирант, ИФЗ РАН, тел. +7 (999) 522-57-95, [nartems@bk.ru](mailto:nartems@bk.ru)

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики Российской академии наук (ИТПЗ РАН), <http://www.mitp.ru>, Россия, 117997, Москва, ул. Профсоюзная, 84/32, тел. : +7 (495) 333-4513, [mitpan@mitp.ru](mailto:mitpan@mitp.ru)
2. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН), <http://www.ifz.ru>, 123242, г. Москва, Б. Грузинская ул., д. 10, стр. 1, тел.: +7 (499) 766-26-56, [direction@ifz.ru](mailto:direction@ifz.ru)

### PRECISION AUTONOMOUS MODULAR 24-BITS GEOPHYSICAL DATA ACQUISITION SYSTEM V.V. Gravirov, K.V. Kislov, D.V. Likhodeev, A.S. Numalov

There was developed a new small-size low-power data acquisition system based on a 24-bit analog-to-digital converter. The system is built on a modular-block principle that allows ones to flexibly change as the number of completely independent input data channels used and the type/model of the controlling controller in accordance with the requirements of tasks being solved. A variant of constructing data acquisition system functioning on the base of a Raspberry Pi microcomputer will be present as one of the possible configurations.

Keywords: ADC, data acquisition system, monitoring

Разработана новая малогабаритная малопотребляющая система автоматического сбора информации, созданная на базе 24-х разрядного аналого-цифрового преобразователя. Система построена по модульно-блочному принципу, что позволяет гибко менять как количество используемых полностью независимых входных каналов данных, так и тип/модель управляющего контроллера в соответствии с требованиями решаемых задач. В качестве одной из возможных конфигураций будет представлен вариант построения системы сбора информации, функционирующей на базе микрокомпьютера типа Raspberry Pi.

Ключевые слова: АЦП, система сбора информации, мониторинг

Современные геофизические наблюдения невозможно представить без использования разнообразных электронных систем сбора информации. Какой параметр или явление мы не пытались бы зарегистрировать или измерить везде присутствует обязательный элемент – аналого-цифровой преобразователь (АЦП). С его помощью производится преобразование любого аналогового сигнала в современную цифровую форму (двоичный цифровой код), который далее может быть передан в любую компьютерную систему для последующего хранения или специальной обработки.

При первом взгляде на существующий сегодня рынок разнообразных систем сбора информации может показаться, что для любой задачи уже существуют системы, отвечающие ее требованиям. Но при ближайшем рассмотрении выясняется, что это не так. Во-первых, в реальности производителей качественных систем сбора не много. Во-вторых, 24-х разрядные системы представлены на рынке не широко ввиду того, что зачастую их входной частотный диапазон ограничен десятками или в крайнем случае сотнями Герц [1, 2]. По этой причине круг потенциальных пользователей подобных систем сильно сужается. Это в свою очередь вызывает ограничение количества предлагаемых моделей и существенное увеличение цены на подобные устройства.

Специфика геофизических исследований заключается в необходимости работать с большими динамическими диапазонами. Это связано с тем, что система сбора информации должна быть в состоянии качественно записывать как сейсмический шум, так и сигналы от сильных землетрясений отличающиеся амплитудами друг от друга на несколько порядков. Ввиду этого, в геофизических исследованиях многие задачи оказываются «штучным товаром» для которого необходимо иметь свою систему сбора, обладающую своими специфическими характеристиками. Это вынуждает исследователей разрабатывать все новые варианты систем сбора вплоть до настоящего времени.

В настоящее время найти малогабаритные внешние автономные блоки АЦП высокого разрешения отечественного производства оказывается совсем не простой задачей. Если не брать во внимание предлагаемые на отечественном рынке импортные системы и платы, а также платы и компоненты, встраиваемые внутрь персональных компьютеров, то становится очевидно, что сейчас можно найти только качественные внешние блоки АЦП производства двух российских фирм: L-Card и Zetlab. К сожалению, в настоящее время внешний 24-разрядный модуль производства L-Card [3] уже снят с производства, но во многих научных организациях до сих пор

используются многочисленные системы и установки на его основе. Свободно сейчас можно купить только изделия фирмы Zetlab, например, модуль ZET-220 [4]. К его несомненным достоинствам следует отнести возможность одновременного использования большого числа аналоговых входов, а также реализованную возможность работы в автономном режиме без подключения к компьютеру, позволяющую сохранять данные преобразования во внутреннюю память модуля (флэш-диск) с возможностью их дальнейшей передачи через контроллер USB или Ethernet. К очевидным недостаткам модуля следует отнести существенный уровень межканального проникновения сигналов и повышенный уровень шумов преобразования при тактовых частотах порядка 100 Гц.

Вышеперечисленное явилось причиной начала работ по проектированию авторами собственной прецизионной модульной системы сбора. Также немаловажным преимуществом разработанной системы является низкая себестоимость системы, что достигается использованием одноканальной системы, с возможностью увеличения количества каналов, при необходимости, в дальнейшем.

В результате к разрабатываемой системе сбора данных были сформулированные следующие требования:

- Разрешение преобразования – 24 бит,
- Эффективная разрядность – не хуже 22 бит,
- Тип аналогового входа – дифференциальный,
- Входное аналоговое напряжение – 10В (+/-5В),
- Количество входных каналов – 1 с возможностью расширения до 16,
- Тактовая частота – от 1 до 100 Гц,
- Динамический диапазон – не хуже 132 дБ,
- Межканальное проникновение – не хуже 122 дБ,
- Потребляемая мощность – не более 1 Вт.

При этом при разработке системы важной задачей было уменьшение ее себестоимости при соблюдении вышеуказанных параметров и сохранении общей надежности системы.

Проанализировав имеющиеся на сегодняшний день на рынке микросхемы было принято решение использовать изделия фирмы Analog Devices [5]. Выбор остановился на использовании АЦП с балансировкой заряда или как их еще называют сигма-дельта АЦП, поскольку, их основное достоинство связано с практически достижимой очень высокой точностью и разрядностью преобразования, обусловленную крайне низким уровнем собственных шумов. Благодаря своей структуре фактически сигма-дельта модулятор является фильтром низких частот для входного аналогового сигнала, и фильтром высоких частот для шума дискретизации, причем оба фильтра имеют одинаковую частоту среза. В итоге шум, сосредотачивается в высокочастотной области спектра и легко удаляется цифровым ФНЧ, который также входит в состав АЦП. Таким образом основными достоинствами сигма-дельта АЦП [6] являются:

- Низкая стоимость.
- Высокая разрешающая способность.
- Превосходная дифференциальная нелинейность.
- Низкая потребляемая мощность, но ограниченная полоса пропускания.
- Простые ключевые концепции реализации, но сложная внутренняя математика.
- Наличие избыточной дискретизация.
- Проведение эффективной фильтрации шума квантования.
- Идеальная применимость для устройств обработки сигналов разнообразных датчиков.

Из большого разнообразия предлагаемых микросхем был выбран чип, требующий минимального количества внешних соединений и комплектующих. Кроме этого в нем отсутствует встроенная схема формирования опорного напряжения, что позволило нам создать систему с высокостабильным источником опорного напряжения. Для стабилизации опорного напряжения использована схема, включающая в себя как прецизионный источник опорного напряжения, так и буферный выходной каскад, позволяющий исключить влияние АЦП на источник опорного напряжения в моменты преобразования, то есть когда входные цепи АЦП активно обращаются и используют опорное напряжение.

Обобщенная структурная схема разработанной платы АЦП системы сбора данных включает в себя входной блок, блок внутреннего питания, блок коммутации, блок индикации, непосредственно саму микросхему АЦП с необходимыми резисторами и конденсаторами, и блок опорного напряжения. Плата соединяется с управляющим микрокомпьютером через 40 контактный разъем GPIO Raspberry Pi 3. Размер разработанной платы не превышает базовых габаритов микрокомпьютера Raspberry Pi 3. Базовые характеристики для одноканального варианта исполнения системы приведены в Таблице 1.

В настоящее время нами разработаны и изготовлены опытные образцы описанной прецизионной системы сбора геофизических данных. Предстоит важный этап полномасштабных испытаний и возможных доработок по улучшению параметров системы.

Разработанная система сбора данных будет обладает характеристиками превосходящими многие зарубежные и отечественные аналоги, а по некоторым параметрам и превосходит их. Несомненным плюсом системы является её гибкость и лёгкая замена одной модели управляющего компьютера на другую. В дальнейшем планируется разработать собственную плату управляющего контроллера, что должно существенно снизить общее энергопотребление всей системы в целом и сделать её ещё более мобильной. За счёт применения в плате АЦП широко распространённых микросхем известных производителей удалось существенно уменьшить её себестоимость.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для поддержки научных школ № НШ 5545.2018.5.

Таблица 1. Основных характеристик разработанной платы сбора информации

| Параметр                                  | Значение    |
|---|-------------|
| Разрешение преобразования                 | 24 бит      |
| Входное напряжение (диф. вход)            | 5В (10В)    |
| Количество входных диф. каналов (каналов) | 1           |
| Коэффициент усиления входного сигнала     | 1           |
| Частота среза входного НЧ фильтра         | 8 Гц        |
| Тактовая частота, фиксированные значения  | 16 и 100 Гц |
| Программируемая тактовая частота          | 0,01-25 Гц  |
| Потребляемая мощность аналоговой части    | < 0,6 Вт    |
| цифровой части                            | < 0,05 Вт   |
| Напряжение питания аналоговой части       | 5В          |
| цифровой части                            | 3,3В        |
| Межканальное проникновение                | Отсутствует |

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колясев В.А., Молин С.М. Особенности применения сигма-дельта АЦП // В сборнике: Приборостроение в XXI веке - 2011. Интеграция науки, образования и производства. Сборник материалов VII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 50-летию приборостроительного факультета. 2012. С. 53-57.
2. Жмудь В.А. Применение ЦАП и АЦП в системах управления высшей точности // Автоматика и программная инженерия. 2013. № 4 (6). С. 68-79.
3. Буткевич В., Невзоров В. Изделия L-Card: отечественные платы ацп/цап с сигнальным процессором / Электроника: Наука, технология, бизнес. 1999. № 3. С. 32-33.
4. АЦП ЦАП ZET 220. URL:<https://zetlab.com/shop/izmeritelnoe-oborudovanie/moduli-atsp-tsap/atsp-tsap-zet-220> (Дата обращения 20/04/2018).
5. Аналого-цифровые преобразователи фирмы Analog Devices. URL:<http://www.analog.com/ru/products/analogto-digital-converters.html> (Дата обращения 20/04/2018).
6. Гришин Е.И. Применение АЦП для измерения различных физических величин // В сборнике: Перспективы развития информационных технологий сборник материалов XXXVI Международной научно-практической конференции. 2017. С. 68-72.