

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭКОЛОГИИ, МЕДИЦИНЫ, БИОЛОГИИ

УДК 550.8

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ

© 2022 г. А. С. Зверев^{а,*}, В. Г. Гайнанов^б

^а Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН
Россия, 119991, Москва, ул. Косыгина, 19

^б Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет
Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, 1

*e-mail: geo-sparker@ya.ru

Поступила в редакцию 14.10.2021 г.

После доработки 29.10.2021 г.

Принята к публикации 31.10.2021 г.

Описан разработанный авторами компактный аналого-цифровой преобразователь для высокоразрешающих сейсмоакустических исследований и приведены его технические характеристики. Преобразователь имеет разрядность 24 бита и 16 каналов с возможностью наращивания их количества за счет объединения преобразователей в сеть. Для обмена данными с управляющим компьютером используется локальная сеть Ethernet, что обеспечивает высокую скорость (100 Мбит/с) и универсальность интерфейса. Распределенные системы сбора данных, построенные на основе преобразователя, могут быть использованы в наземной, скважинной или морской сейсмоакустике, а также в гидроакустике.

DOI: 10.31857/S0032816222020082

ВВЕДЕНИЕ

Основной особенностью сейсмоакустических систем сбора данных является прием и регистрация сигналов, периодически излучаемых управляемыми источниками (электроискровыми, пневматическими и др.) и принимаемых датчиками (сейсмоприемниками, гидрофонами), расположенными на поверхности изучаемого объекта, в скважинах или буксируемых за судном. При межскважинном просвечивании — это расположенные в скважинах вертикальные группы датчиков, при морских 2D-наблюдениях — линейные группы, буксируемые под поверхностью воды или заглубленные на десятки метров и более, при морских 3D-наблюдениях — несколько параллельных линейных групп.

Применение локальной сети Ethernet является удобным способом передачи данных с удаленных датчиков, объединенных в линейные или площадные группы, обеспечивающим высокую скорость передачи данных и большое количество обслуживаемых каналов.

Использование стандарта Ethernet 100Base-TX (витые пары) дает несколько преимуществ: нет необходимости в специализированном оборудовании для приема/передачи данных, любой персональный компьютер рассчитан на работу с сетью этого стандарта. Рекомендуемая максималь-

ная длина сегмента сети составляет 100 м, что удовлетворяет методическим требованиям по расстоянию между приемными датчиками для высокочастотной сейсмоакустики. Разработка и реализация аппаратных средств упрощается за счет использования широко представленных на рынке радиоэлектронных компонентов для работы с сетью. Программная поддержка протоколов сети для разных микроконтроллеров доступна на сайтах компаний-производителей.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Описываемый в статье модуль аналого-цифрового преобразователя (а.ц.п.) был создан как универсальный многофункциональный элемент распределенной сейсмоакустической системы сбора данных.

Основные технические характеристики а.ц.п.:

Количество каналов — 8 или 16

Частотный диапазон 30 Гц–10 кГц

Разрядность а.ц.п. — 24

Диапазон входных напряжений — ± 2.5 В

Частота дискретизации, кГц: 0.5, 1, 2, 4, 8, 16, 32

Количество выборок на канал — 500, 1000, 2000, 4000, 8000

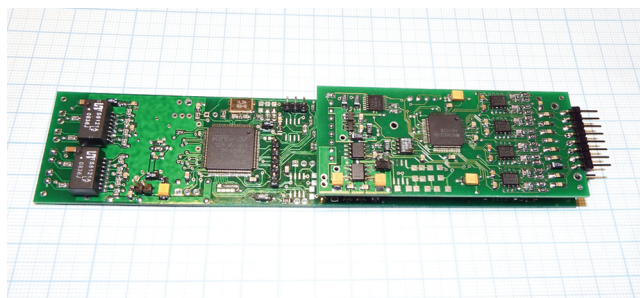


Рис. 1. Внешний вид аналого-цифрового преобразователя.

Диапазон формирования задержки 1–10000 мс

Интерфейс – Ethernet 100 Base-TX

Количество портов Ethernet – 2

Количество портов RS-485 – 2

Питание: – 3.3 В (цифр.), 6 В (аналог.)

Преобразователь выполнен на плате размером 35×160 мм (рис. 1). При использовании низкопрофильного трансформатора высота устройства (для 16 каналов) составляет 12 мм.

УСТРОЙСТВО А.Ц.П.

Блок-схема а.ц.п. представлена на рис. 2. В качестве управляющего элемента преобразователя используется микроконтроллер STM32F427 компании STMicroelectronics [1]. Основные парамет-

ры микроконтроллера, критичные для данной конструкции, таковы: тактовая частота 180 МГц, объем внутреннего оперативного запоминающего устройства 256 Кбайт, объем памяти программ – 2 Мбайт, контроллер Ethernet с интерфейсом MMI/RMMI и поддержкой передачи данных с использованием контроллера прямого доступа к памяти и скорости 100 Мбит/с, несколько последовательных портов с поддержкой режима RS-485.

Для осуществления передачи по двум витым парам используется микросхема KSZ8863MLL компании Microchip [2]. Это управляемый трехканальный многофункциональный Ethernet-коммутатор с интерфейсом MMI/RMMI, с тремя каналами управления доступом к среде (MAC) и двумя каналами физического уровня (PHY), с поддержкой скорости 100 Мбит/с.

В устройстве используется 24-битный дельта-сигма а.ц.п. ADS1278 компании Texas Instruments [3]. Преобразователь имеет в корпусе 8 каналов преобразования с индивидуальным а.ц.п. на каждом канале, преобразователи работают синхронно. При максимальной тактовой частоте а.ц.п. частота выборок в режиме “высокого разрешения” составляет 52 кГц. В разработанном устройстве были выбраны тактовая частота 16.384 МГц и фиксированная частота выборок 32 кГц. Необходимое для низкочастотных сигналов снижение частоты выборок осуществляется фильтрацией и прореживанием. На одной плате с микроконтроллером расположен один 8-канальный а.ц.п.

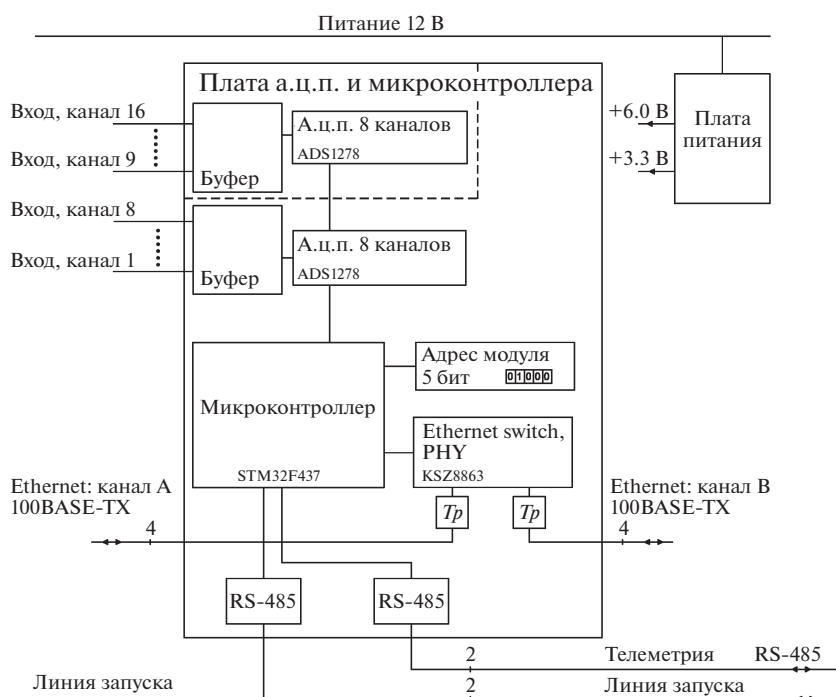


Рис. 2. Блок-схема аналого-цифрового преобразователя. T_p – согласующий трансформатор.



Рис. 3. Герметичный контейнер с аналого-цифровым преобразователем.

При необходимости увеличения количества каналов до 16 подключается дополнительная плата, располагаемая над основной (размеры 35×78 мм). Микросхема а.ц.п. требует для своей работы источник опорного напряжения 2.5 В и три стабилизированных источника питания – 1.8 В, 3.3 В и 5 В. Для согласования предварительных усилителей датчиков со входами а.ц.п. использованы буферные усилители с дифференциальными или несимметричными входами.

Один из последовательных портов микроконтроллера используется для интерфейса RS-485. Предполагается его использование для подключения дополнительных датчиков медленно меняющихся параметров, таких как температура и влажность внутри корпуса прибора, угол наклона корпуса, гидростатическое давление, глубина погружения и т.д.

Синхронизация нескольких модулей (начало оцифровки и регистрация данных), объединенных в сеть, осуществляется аппаратно, по отдельной линии. Первый модуль в сети является ведущим, запускается программно по команде с персонального компьютера и запускает остальные модули, а также сейсмический источник.

Регистрация может начинаться с задержкой, устанавливаемой программно.

Каждый модуль имеет уникальный IP-адрес, устанавливаемый при помощи переключателей.

Взаимодействия программы на компьютере с группой модулей осуществляется по Ethernet, протокол UDP. Со стороны программы управление осуществляется командными пакетами: запрос состояния, установка параметров работы модуля, старт, запрос данных и др. Ответные пакеты модулей таковы: готов к работе, параметры в норме, ошибка, данные, отсутствие данных и др.

Для контроля и отладки модулей под ОС Windows была написана программа ADCsoft, позволяющая эмулировать работу системы сбора дан-



Рис. 4. Шестнадцатиканальная сейсмостанция.

ных с одним или с группой модулей. Программа предоставляет возможность установки параметров работы модулей и визуализации переданных данных по 16 каналам (режим многоканального осциллографа).

По предварительной визуальной оценке среднеквадратичное значение напряжения шума а.ц.п., приведенное ко входу (при закороченных входах), составляет примерно 6 мкВ для максимальной частоты дискретизации.

ПРИМЕНЕНИЕ А.Ц.П.

На основе модуля а.ц.п. были реализованы устройство сбора данных для гидрофонного сейсмического приемного устройства (косы) для скважинной и морской сейсмоакустики [4] и программное обеспечение для сбора данных. В этой конструкции модуль а.ц.п. установлен в герметичном контейнере $\varnothing 45$ и длиной 300 мм, там же расположена плата питания (рис. 3). Модуль является грузонесущей частью устройства, буксируемого за судном или опускаемого в водонаполненную скважину.

Контейнер соединен с блоком согласования с компьютером грузонесущим кабелем с кевларовым сердечником $\varnothing 14$ мм и длиной 80 м. В кабеле используются 8 жил: три витых пары для передачи данных и импульса запуска, а также две жилы для напряжения питания.

Предусмотрена возможность последовательного соединения нескольких 16-канальных гидрофонных приемных устройств. На основе а.ц.п. была изготовлена также 16-канальная наземная сейсмостанция с программой сбора данных для изучения внутреннего строения массивов скальных пород и бетонных конструкций методом межскважинного сейсмоакустического просвечи-

вания (рис. 4). Основные технические параметры станции фактически повторяют параметры а.ц.п. Возможно объединение нескольких станций в сеть с помощью внешнего коммутатора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создан и испытан в лабораторных и полевых условиях 16-канальный аналого-цифровой преобразователь для многоканальных распределенных систем сбора данных, который может использоваться в составе аппаратуры для наземной, скважинной, морской сейсмоакустики. Для увеличения количества каналов несколько а.ц.п. могут объединяться в сеть, что делает созданное устройство универсальным для проведения мно-

гих видов высокочастотных сейсмических и акустических исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://www.st.com/resource/en/data-sheet/stm32f437vg.pdf>
2. <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/KSZ8863MLL-FLL-RLL-Data-Sheet-00002335C.pdf>
3. <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1278.pdf>
4. *Зверев А.С., Мухомов А.Д., Гайнанов В.Г.* // Сб. IX Международная научно-практическая конференция "Морские исследования и образование (МА-RESEDU-2020)". Тверь: ПолиПРЕСС, 2020, Т. 1. С. 436.