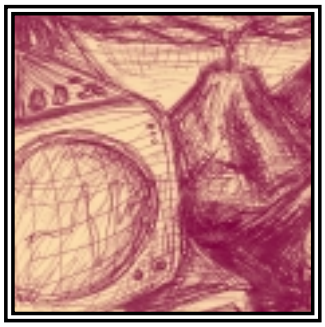

Цифровая геофизическая станция

Пьер Андрие, Александр Валющев, Роман Гезиков, Вячеслав Козлов, Андрей Титов, Эдуард Файнберг

Описана цифровая геофизическая станция Land Explorer, разработанная в рамках международного проекта INTAS для предсказания землетрясений.

Назначение

Цифровая геофизическая станция Land Explorer (далее – станция LE, или просто станция) предназначена для долговременных (недели и месяцы) измерений геофизических полей. В базовом варианте измеряются электромагнитные и сейсмические поля естественного происхождения. Целью измерений является решение двух основных задач: региональных работ по изучению глубинного строения Земли и мониторинга тектонических процессов с целью предсказания природных катастроф (землетрясений, извержений вулканов и др.).

До сих пор сейсмологические и магнитотеллурические региональные исследования выполнялись независимо друг от друга, что вызывало трудности совместной интерпретации данных и приводило к удорожанию работ (отдельная аппаратура, отдельные отряды и т. д.). Станция позволяет выполнять такие работы совместно.

Несмотря на очевидную необходимость совместного сейсмического (сейсмологического) и электромагнитного мониторинга тектонических процессов, позволяющего решать задачи происхождения, трансформации полей и локализации их источников, таких измерений до сих пор не проводится, что обусловлено отсутствием подходящей аппаратуры. Предлагаемая станция позволяет решить и эту задачу.

Основные параметры

Часть аппаратуры станции, предназначенная для работы с одним аналоговым сигналом, называется каналом. Станция содержит каналы двух видов:

- высокочастотные с рабочей полосой частот 0,1...30 Гц (ВЧ);
- низкочастотные с рабочей полосой частот 10^{-5}...10^{-1} Гц (НЧ).

Частота оцифровки сигналов каналов ВЧ – 128 Гц, каналов НЧ – 4 Гц. Разрядность оцифровки – 16 бит для каналов ВЧ и 24 бита для каналов НЧ. В состав станции LE (базовая конфигурация) входят 8 каналов ВЧ и 5 каналов НЧ, в том числе:

- 3 канала ВЧ для работы с трехкомпонентным сейсмодатчиком;
- 3 канала ВЧ для измерения 3 ортогональных компонентов магнитного поля Земли;
- 3 канала НЧ аналогичного назначения;
- 2 канала ВЧ и 2 канала НЧ для измерения теллурических потенциалов.

Станция имеет два основных режима работы – автономный и стационарный.

В автономном режиме станция после развертывания на местности должна продолжать функционировать автоматически, без вмешательства оператора, не менее 10 дней. Основными параметрами, ограничивающими продолжительность автономного функционирования, являются емкость аккумуляторных батарей и объем жесткого диска, на который производится запись информации. Последнее ограничение приводит к необходимости записывать на диск не все собираемые данные, а только так называемые события, длительность которых сравнительно мала.

Там, где есть возможность периодического обслуживания станции и запитки ее от электросети, LE может работать в стационарном режиме. В этом режиме информация, поставляемая датчиками, записывается на диск непрерывно и в полном объеме; длительность записи не ограничена. Обслуживание станции сводится к ежедневной замене накопителя на ЖМД, причем замена накопителя не прерывает процесс сбора данных.

Рассогласование по времени моментов выборки сигналов для всех каналов станции не превышает 1 мс. Кроме того,

(C) 1997 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

имеется возможность привязки (с той же точностью) моментов выборки к абсолютному мировому времени с использованием спутникового приемника. Это позволяет обеспечить синхронную работу нескольких станций, расположенных в разных районах Земли.

Перед записью на диск сигналы от датчиков подвергаются аналоговой и цифровой фильтрации. Ее цель – адекватное представление сигналов рабочей полосы частот на данной частоте выборок (подавление эффекта наложения частот, или элайзинга).

Аппаратные средства геофизической станции

Станция LE (рис. 1) состоит из следующих блоков:

- **периферийных контроллеров сбора данных** (**ПКС**), устанавливаемых поблизости от соответствующих датчиков. Питание каждого ПКС производится от индивидуальной аккумуляторной батареи (АБ);
- **узловой станции** (**УС**), производящей сбор данных и управление ПКС по цифровой линии связи. Питание УС может осуществляться как от АБ, так и от электросети 220 В, 50 Гц;
- **антенны спутникового приемника GPS**.

Для инициализации ПКС и запуска станции в целом к УС может подключаться терминал (Notebook PC).

Длина кабелей связи К1 – до 50 м, К2 – до 1000 м (в стационарном режиме требуется удаление датчиков станции от мест проживания людей на значительное расстояние).

Все ПКС подключаются к линии связи параллельно, для чего на каждом из них расположены два разъема, обеспечивающие удобное подключение кабельных сегментов.

Периферийные контроллеры сбора данных

В состав каждого ПКС (рис. 2) входят

- **3 аналоговых канала** (за исключением теллурического ПКС, имеющего 4 канала), состоящих из малошумящего предварительного усилителя (ПУ) с регулируемым коэффициентом усиления, фильтра-режектора наводок со стороны промышленной электросети 50 Гц (только в каналах ВЧ) и аналогового антиэлайзингового фильтра;
- **четырехканальный сигма-дельта АЦП**, работающий с частотой выборок 2048 Гц (AD 7716 фирмы Analog Devices);
- **цифровой сигнальный процессор**, **ЦСП** (ADSP2115 той же фирмы), реализующий цифровую часть антиэлайзингового фильтра с понижением частоты выборок до необходимого значения. Кроме того, ЦСП обеспечивает синхронизацию работы каналов;
- **микроконтроллер управления и связи с линией**, **МК** (DS80C320 фирмы Dallas Semiconductor);
- **преобразователь интерфейса линии связи**, **ПИ**;
- **многоканальный источник питания**, **ИП**.

Линия связи – гальванически изолированная двухпроводная (стале-медный полевой кабель); скорость передачи – 62,5 кбод.

Исходя из специфики эксплуатации геофизических приборов, работающих на пределе чувствительности, заказчиком было поставлено условие: гальваническая изоляция линии связи должна достигаться без использования трансформаторов, а только при помощи оптопар с минимальной проходной емкостью. Это требование заказчика, а также стремление снизить электропотребление станции исключили возможность использования какой-либо стандартной промышленной шины класса Fieldbus. В шине, разработанной специально для этого проекта, по линии передаются как информационные посылки, так и напряжение питания приемопередатчиков ПКС. Линия запитывается от узловой станции.

Данные с выхода ЦСП группируются в пакеты и передаются по линии связи в УС. Помимо передачи данных, линия используется для передачи команд управления работой ПКС.

Для синхронизации работы всех подключенных к линии связи ПКС узловая станция периодически, через каждые 2 секунды, выдает в линию команду синхронизации. Исполнителем команды является ЦСП, подсчитывающий число выборок АЦП между двумя командами синхронизации. Это число поддерживается равным 4096.

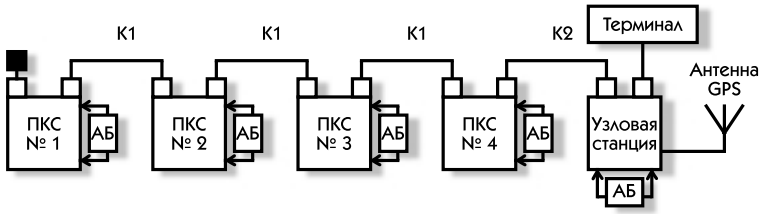

Рис. 1. Структура геофизической станции
ПКС — периферийные контроллеры сбора данных,
АБ — аккумуляторные батареи,
К1, К2 — кабели связи

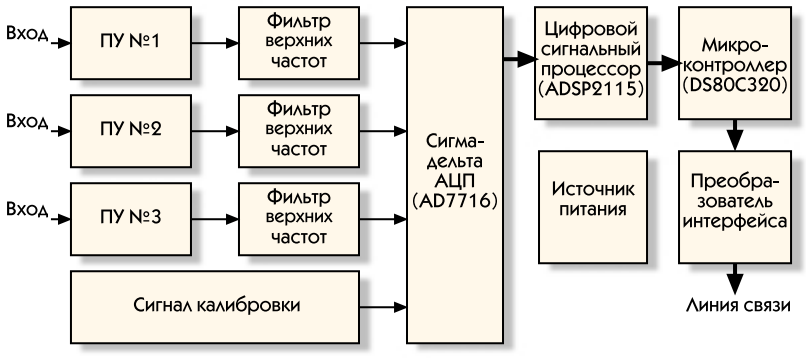

Рис. 2. Структура периферийных контроллеров сбора данных
ПУ — предварительный усилитель,
ФВЧ — фильтр верхних частот,
ЦСП — цифровой сигнальный процессор,
МК — микроконтроллер управления и связи

Узловая станция

Структура узловой станции, показанная на рис. 3, была выбрана, исходя из следующих соображений.

В автономном режиме работы станции для сокращения объема записи данные обрабатываются в режиме реального времени и по некоторым критериям определяется необходимость сохранения данных, содержащих так называемые события. Для этого основной контроллер узловой станции должен обеспечить достаточную вычислительную мощность. Кроме того, необхо-

(C) 1997 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

димо, чтобы контроллер имел средства для работы с приемником GPS, позволял выполнять «горячую» смену жесткого диска (например PCMCIA) и работал под управлением операционной системы, файловая структура которой совместима с файловой структурой MS-DOS (это важно для удобства дальнейшей обработки данных).

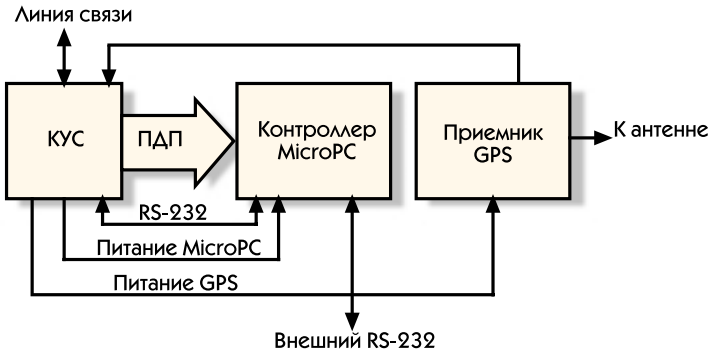

Рис. 3. Структура узловой станции
КУС — контроллер узловой станции
ПДП — канал прямого доступа к памяти

Всем этим требованиям вполне удовлетворяет контроллер MicroPC 4000 фирмы Octagon Systems на базе процессора 386SX-25 совместно с картой PCMCIA.

Однако энергопотребление MicroPC довольно велико (около 6 Вт вместе с накопителем), в то же время скорость записи данных на диск в несколько раз больше скорости поступления данных от сети ПКС. Поэтому был разработан специальный контроллер узловой станции (КУС) с мощностью потребления около 0,3 Вт, на который были возложены функции управления сетью ПКС, буферизации данных и управления питанием MicroPC. При накоплении в оперативной памяти КУС достаточного объема данных (256 кбайт... 384 кбайт) КУС включает питание MicroPC и передает данные, используя механизм прямого доступа к памяти (ПДП). В MicroPC эти данные могут быть обработаны или просто записаны на жесткий диск без обработки. После записи данных на диск MicroPC выключается.

Таким образом, в автономном режиме работы станции MicroPC включается только на время записи очередной порции данных на диск. Данное техническое решение позволило сократить среднюю мощность потребления MicroPC примерно до 1,5 Вт.

В составе КУС также имеются часы, использующиеся для выработки команд синхронизации. Коррекция хода этих часов производится примерно один раз через каждые 10 минут по секундным импульсам с выхода приемника GPS. Процедура коррекции длится около 1,5 минут, включая время инициализации приемника GPS. Для снижения энергопотребления питание на приемник GPS подается только при выполнении процедуры коррекции.

Программное обеспечение и особенности эксплуатации

При разработке программного обеспечения системы наиболее ценным качеством MicroPC была полная совместимость с IBM PC.

Макет КУС подключался к обычному компьютеру – и отладка программного обеспечения не представляла особых сложностей. После переноса разработанной программы на флэш-диск MicroPC не возникло никаких проблем. Разработка программного обеспечения велась на языке C с использованием пакета Borland C++ 3.1.

При эксплуатации системы выявились следующие особенности. Загрузка операционной системы с EPROM-диска, защищенного от записи, существенно повышает надежность системы. Однако в процессе загрузки драйверов PCMCIA и инициализации жесткого диска все-таки возможны ошибки. В результате опытной эксплуатации было зафиксировано, что в течение 12 часов (примерно 360 включений/выключений) происходит в среднем одна ошибка при инициализации жесткого диска. Возможно, это не проблема при использовании диска в Notebook, но в данном случае требуется перезагрузка MicroPC. Перезагрузка выполняется по сигналу аппаратного сброса MicroPC, формируемого КУС. Решение о необходимости перезагрузки MicroPC принимается КУС по результатам сеанса связи по интерфейсу RS-232.



Внешний вид узловой станции



Общий вид станции

Заключение

В настоящее время закончены лабораторные и часть полевых испытаний двух опытных образцов станции LE, подтвердившие правильность основных технических решений. В то же время результаты испытаний показали, что возможности станции не ограничены предсказанием землетрясений и она с успехом может быть использована во многих областях геологии и геофизики.

Авторы выражают благодарность Барсукову П.О., Зубкову Б.В., Ключкину В.Н. за полезные обсуждения при разработке станции а также Клерку Ж. (Clerc G.) за помощь в тестировании станции.

Разработка станции выполнена при финансовой поддержке фонда INTAS, проект 94-1304.

(C) 1997 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru