ПЕРЕНОСНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ «СИНУС»

Сенин Л. Н., Сенина Т. Е. - Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. Описаны требования, предъявляемые к переносным сейсмическим станциям. Показано, что создание таких станций перспективно при использовании 8– и 16– ти разрядных микроконтроллеров общего назначения. Представлены основные параметры станции «Синус», разработанной в Институте геофизики УрО РАН. Приведена структурная схема станции, алгоритм ее работы и общий вид станции.

PORTABLE SEISMIC STATIONS " SINE "

Senin L.N., Senina T.E.—Institute of Geophysics UB of RAS, Yekaterinburg

Abstract. The requirements shown to portable seismic stations are described. It is shown, that creation of such stations is perspective at use 8's and 16's digit microcontrollers of a general purpose. Key parameters of station " Sine " developed in Institute of Geophysics of UB RAS are presented. The block diagram of station, algorithm of its work and a general view of station is resulted.

Переносные сейсмические станции – это особый класс сейсморегистрирующей аппаратуры, предназначенной для изучения структурных особенностей верхней части геологической среды. Глубина исследований обычно не превышает десятков метров. Очень важные характеристики для такого рода аппаратуры - экономичность, компактность, стабильность работы в широком диапазоне изменения температур, устойчивость к механическим воздействиям. Обязательными условиями являются наличие графического (матричного) дисплея для визуальной оценки качества регистрируемой информации и удобного клавиатурного интерфейса, обеспечивающего работу в диалоговом режиме.

Большинство современных модификаций переносных сейсмических станций включают, по меньшей мере, два блока: блок предварительной аналоговой обработки и аналого - цифрового преобразования входных сигналов и блок предварительной цифровой обработки и накопления данных. При этом второй блок, как правило, персональный компьютер типа Notebook, подключенный к первому через какой-либо стандартный порт ввода - вывода.

Почему полиблочная структура станций нашла сегодня широкое распространение среди разработчиков и производителей, понять нетрудно. Во - первых, отпадает необходимость разработки и изготовления цифровой части сейсмостанции, во - вторых, программу обработки и управления легко написать на языке высокого уровня.

Вместе с тем, за относительно небольшие затраты на ОКР и изготовление полиблочной станции впоследствии расплачивается пользователь. Прежде всего, она перестает быть экономичной и компактной, превращаясь из носимой в транспортируемую на автомобиле. Вследствие этого применение станции ограничивается проходимостью автомобиля, т. е. в труднодоступных участках местности исследования проводить практически невозможно, снижается рентабельность работ.

Использование Notebook в составе полевой аппаратуры подразумевает, что компьютер должен быть выполнен, по меньшей мере, в варианте Industrial, а лучше Military. Однако стоимость таких модификаций Notebook в несколько раз превышает стоимость коммерческой версии компьютера. По этой причине пользователь предпочитает именно коммерческий вариант, заведомо ограничивая возможности станции. Например, в зимнее время работать с такой аппаратурой нельзя.

Одним из наиболее перспективных направлений, активно развиваемых общеизвестными корпорациями Motorola, Atmel, Microchip и т. д., являются 8 -, 16 - разрядные AVR микроконтроллеры общего

назначения. Их архитектура является одной из самых удачных на мировом рынке микроконтроллеров. Наличие трех типов памяти на кристалле, высокая производительность, низкое энергопотребление, отличная адаптивность к языкам программирования высокого уровня (C/C++), разнообразные периферийные модули, широкий диапазон напряжений питания и совместимость кристаллов семейства "снизу вверх" далеко не полный перечень достоинств этих устройств.

Используя микроконтроллер AVR класса mega в системе управления переносной сейсмической станции, можно добиться результатов не хуже, чем с применением microPC, но при этом система будет значительно экономичнее и компактнее. Именно этот путь был выбран при разработке сейсморегистрирующей системы «Синус» [1].

Таблица 1. Основные технические характеристики сейсмических станций «СИНУС»

Технические параметры	
Число каналов	6, 12, 24 или более
Входной импеданс	дифференциальный 5 k ohms // 0.01µF
Ступени усиления	0, 12, 24, 36, 48 dB
Диапазон частот	7.5 to 4000 Hz
Разрядность АЦП	16
Период дискретизации	62.5, 125, 250, 500, 1000 µsec
Число выборок на канал	256, 512, 1024 (2048)
Задержка записи	0 – 9999 msec (шаг 1 msec)
Запуск системы	пьезодатчик, разрыв контакта, геофон
Система	
Управляющий контроллер	AVR ATmega
Дисплей	320×240 пикселей, Plasma или LCD
Mass Storage	Флэш диск ≥ 4 MB
Формат сохранения данных	SG (Sinus), SEG-Y, SEG-2
Порт связи с ЭВМ	USB
Напряжение питания	12 В (10 – 20) В
Ток потребления	0.45A (max)
Диапазон рабочих температур	-20… +40 °C
Габаритные размеры	260×160×310 мм (max)
Масса	5 кг (max)

К настоящему времени проработана техническая документация, отлажены все узлы, изготовлено несколько действующих экземпляров моноблочных сейсмических станций «Синус», которые успешно эксплуатируются в восточной и западной Сибири, на Урале, в Московской области. Система унифицирована и при незначительных доработках легко трансформируется в 6, 12, 24 или 32 - канальный вариант. При этом все основные технические характеристики, приведенные в таблице 1, сохраняются. Тщательная проработка топологии печатных плат позволила получить измерительный инструмент с чувствительностью 0,3 – 0,5 мкВ, т. е. на уровне собственных шумов лучших мировых образцов операционных усилителей.

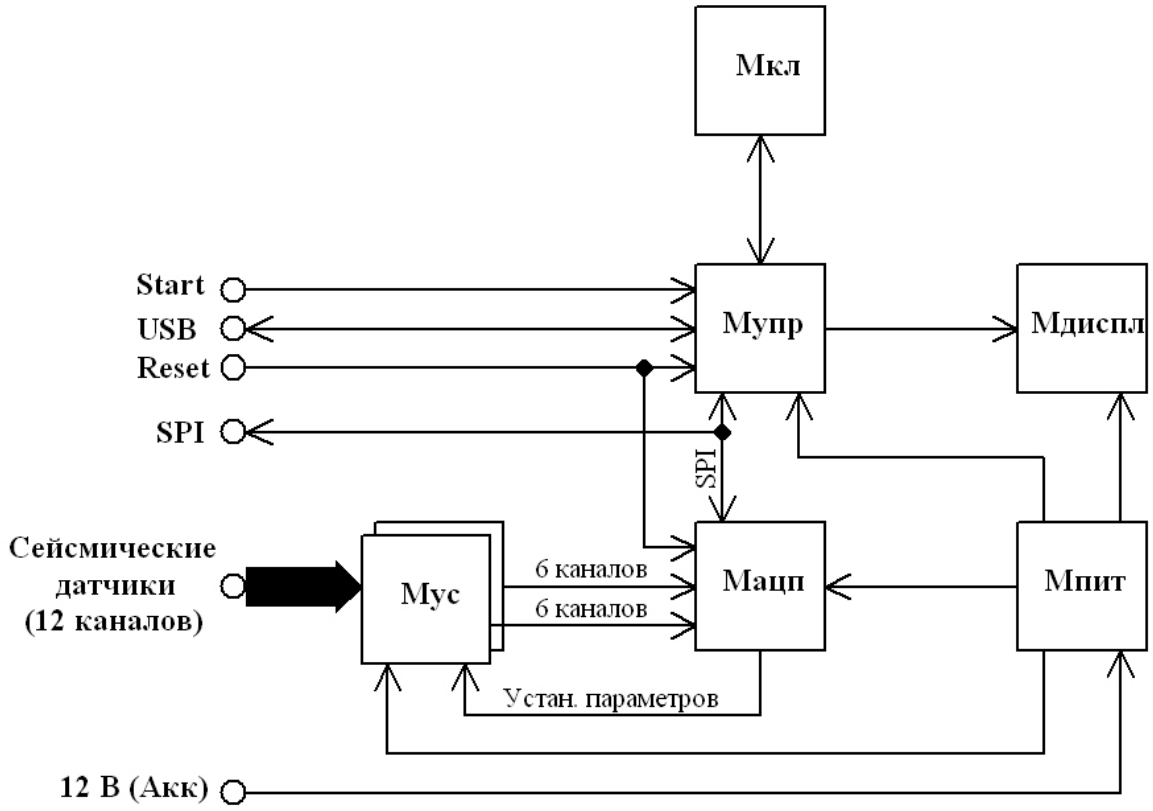

Рис.1 Структурная схема 12 - канального варианта сейсмической станции «Синус».

На рис.1 показана структурная схема 12- канального варианта сейсморегистрирующей системы «Синус», ядром которой является модуль управления. Система может обслуживать большее или меньшее число каналов, в зависимости от выбранной конфигурации сейсмической станции. Схема включает собственно модуль управления ($M_{упр}$), модуль аналого - цифрового преобразователя ($M_{АЦП}$), два идентичных модуля аналоговых усилителей ($M_{ус}$), каждый из которых содержит 6 каналов и модуль питающих напряжений ($M_{пит}$). Кроме того в состав станции входит плазменный дисплей фирмы Planar ($M_{дисп}$), обеспечивающий визуализацию данных с разрешением 320´240 пикселей в формате quarter VGA (дисплей полностью совместим с аналогичным экранным модулем ЖКИ), а также защищенная матричная клавиатура 4´4 фирмы Grayhill ($M_{кл}$).

Всего система включает два контроллера AVR, один из которых расположен в модуле управления, другой - в модуле АЦП, причем первый всегда настроен как ведущий (master), второй – как ведомый (slave).

Из схемы на рис.1 видно, что связь с внешними управляющими устройствами осуществляется по четырем линиям: «USB» - обмен данными с компьютером, когда необходима передача сейсмической информации из внутренней памяти сейсмической станции; линия «SPI» используется в режиме программирования контроллеров станции и в режиме межконтроллерного обмена данными; «Reset» - линия принудительного системного сброса на случай возникновения внештатной ситуации; линия «Start» обеспечивает синхронизацию работы станции с источником сейсмических волн.

Как в любом измерительном приборе, в сейсмическом канале станции возникают аппаратурные искажения. В частности, к таковым относится смещение нуля $U_{СМ}$, температурный дрейф нуля A_{ET}, обычно возникающие на этапе аналоговой обработки сигнала. Погрешность этого типа главным образом обусловлена применением интегральных операционных усилителей (ОУ), входные каскады которых являются

наиболее «ответственными», т. к. именно здесь минимизируется напряжение смещения, обусловленное неточным согласованием напряжений база – эмиттер входных транзисторов этих усилителей.

Рассмотрим такой пример. Если в канале станции требуется реализовать усилитель на ОУ с коэффициентом усиления 60 дБ, то несбалансированность входного дифференциального каскада ОУ всего на 1 мкВ вызовет смещение нуля на выходе усилителя 1 мВ. При использовании в станции 16 - разрядного АЦП, это будет соответствовать 3 – 4 младшим разрядам. Для накопительных сейсмостанций, в которых осуществляется многократное синхронное суммирование, смещение будет накапливаться вместе с полезной информацией, что в конечном итоге может привести к непригодности регистрируемых данных или к их сильному искажению.

С целью минимизации искажений данного типа был разработан эффективный и простой алгоритм цифровой коррекции смещения нуля, основанный на простейших арифметических операциях [2]. Алгоритм встроен в рабочую программу станции, а используемый AVR контроллер справляется с этой задачей за 200 – 250 мсек, что на практике никак не сказывается на производительности работ, поскольку интервал между отдельными суммированиями обычно составляет 3 – 5 сек.

Алгоритм цифровой коррекции смещения нуля заключается в следующем.

Известно, что исследуемый сейсмический сигнал является квазигармоническим, с относительно симметричным распределением положительных и отрицательных полуволн. Следовательно, имея запись сейсмической трассы с сигналом, смещенным относительно нулевой линии на некоторую величину, можно простыми арифметическими действиями вычислить данную величину смещения. Достаточно найти среднее арифметическое значение сигнала для всей трассы, а полученное значение ввести как поправку в каждую выборку трассы:

$$U_{CM} = (a_1 + a_2 + \ldots + a_N) / N, \qquad (1)$$

где a_1, a_2, $\ldots a_N$ – амплитуды выборок сигнала одной сейсмической трассы; N – количество выборок. Таким образом можно осуществить коррекцию смещения нуля для каждого канала сейсмической станции.

На рис.2 приведен пример сейсмограммы (показана одна трасса), полученной на 24 - канальной сейсмической станции «Синус - 24М». Длительность записи 0,8 секунд, количество выборок 512. На рисунке 2а видно отрицательное смещение (U_{CM}) сигнала относительно нулевой линии. После вычисления поправки Uсм и введения ее в каждую выборку трассы, сформировалась результирующая сейсмограмма, для которой смещение нуля скорректировано (рис. 2б) с погрешностью ± 1 младший значащий разряд АЦП.

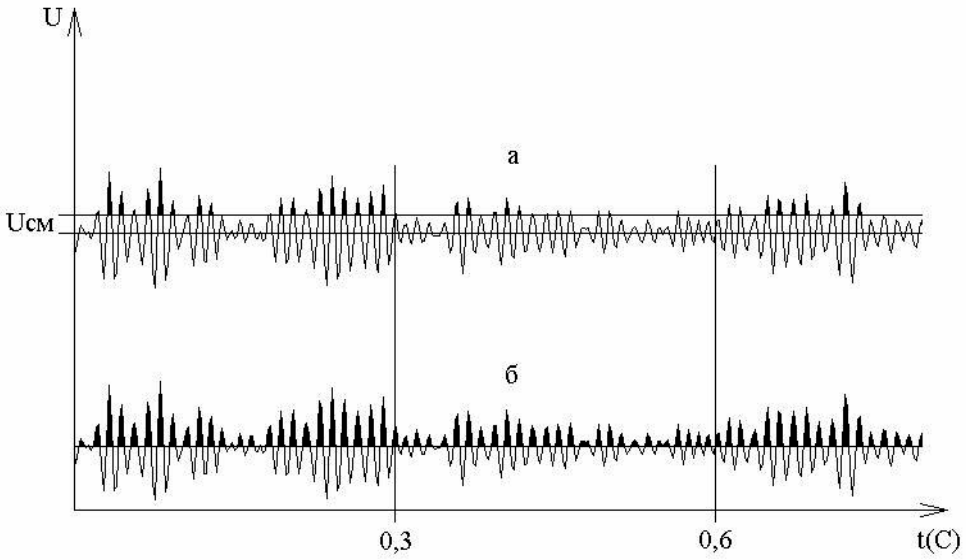

Рис. 2. Пример коррекции смещения нуля.

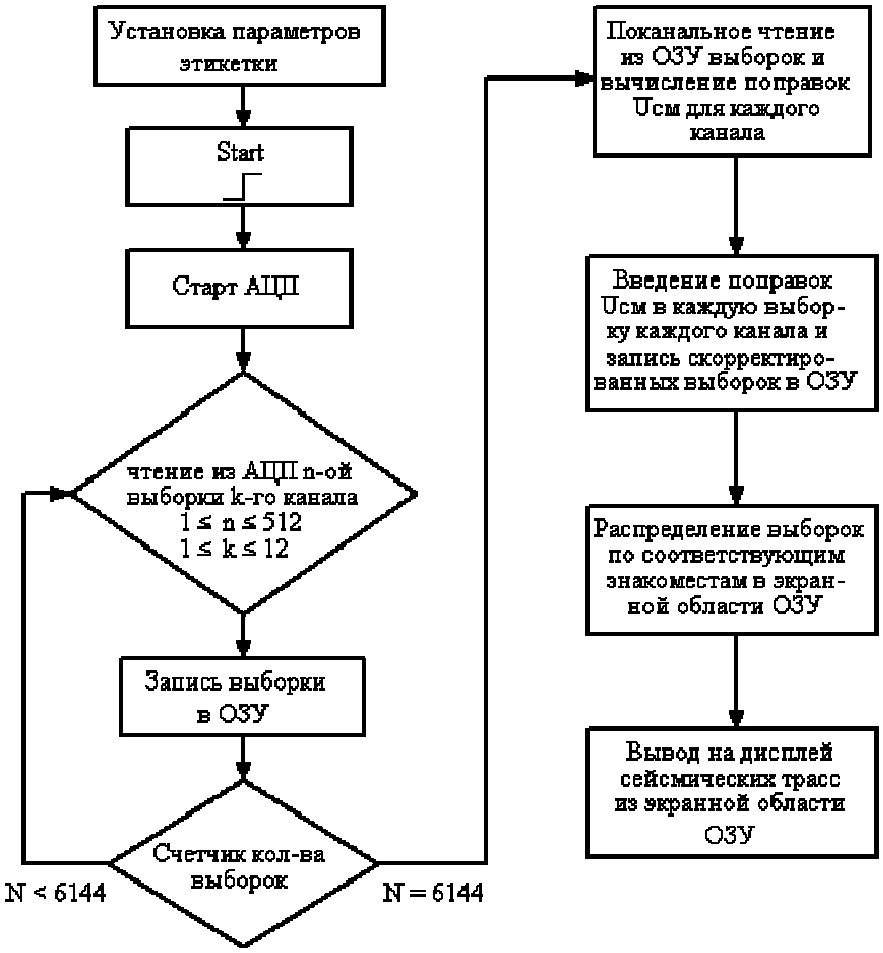

Рис. 3. Алгоритм работы 12 - канальной станции в режиме регистрации (прием и запись) одной сейсмограммы размером 512 выборок/канал.

Рассмотрим работу станции в режиме регистрации сейсмограммы. Заметим, что перед началом выполнения данной операции производится заполнение этикетки, в которую входят такие параметры как количество выборок, шаг дискретизации, коэффициенты усиления по каналам, частота среза фильтров высокой и низкой частот (ФВЧ, ФНЧ), включение или выключение режекторного фильтра (РФ), настроенного на частоту 50 Гц. Частично эти параметры в виде управляющих сигналов заносятся в регистры модулей усилителей, частично сохраняются в виде пассивных величин (пункт возбуждения, номер профиля, номер сейсмограммы и т. д.).

На рис. 3 показан алгоритм работы 12 - канальной станции в режиме регистрации (прием и запись) одной сейсмограммы размером 512 выборок/канал. По фронту сигнала Start, поступающего в Мупр. от пъезодатчика синхронизации источника сейсмических волн, контроллер master в течение 100 нС формирует команду «Старт АЦП», по которой контроллер slave, размещенный в $М_{АЦП}$ приступает к чтению из аналого-цифрового преобразователя выборок сейсмического сигнала. Ведется подсчет количества считанных выборок, общее число которых в соответствии с начальными условиями равно 6144. Каждая считанная из АЦП выборка сохраняется в оперативной памяти (ОЗУ). Когда число N достигает величины 6144, программа прекращает чтение выборок из АЦП и переходит к вычислению поправок смещения нуля Uсм для каждого сейсмического канала в соответствии с алгоритмом (1).

Рис. 4. Общий вид сейсмической станции «Синус - 12М».

По окончании вычислений Uсм, поправки вводятся в каждую выборку каждого из 12 - ти каналов и скорректированный результат вновь записывается в ОЗУ. Завершается операция регистрации сейсмограммы размещением выборок по закрепленным знакоместам в экранной области ОЗУ и выводом на дисплей двенадцати сейсмических трасс (рис. 4).

В случае, если полезный сигнал имеет недостаточную амплитуду или с трудом выделяется на фоне геосейсмических помех производится многократная регистрация сейсмограмм с одного и того же пункта возбуждения, при этом каждая последующая сейсмограмма автоматически синхронно суммируется с предыдущей (на рис. 3 не показано).

В результате возрастает отношение сигнал/помеха и полезная информация становится более контрастной на фоне случайных шумов. Кондиционная сейсмограмма и сопровождающая ее этикетка сохраняется на флэш-диске по команде, введенной с клавиатуры станции.

В заключение необходимо отметить, что полевые испытания различных модификаций сейсмической станции «Синус» показали, что аппаратура неприхотлива в эксплуатации, сохраняет работоспособность в зимнее время до температуры – 25° С и при снижении питающего напряжения до 8,5 вольт. Аккумуляторная батарея емкостью 16 Ач обеспечивает работу станции без дополнительной зарядки в течение 5 – 7 рабочих смен.

Литература

1. *Сенин Л.Н., Сенина Т.Е.* Сейсмическая станция «Синус». Приборы и техника эксперимента № 5. М: Наука, 2005, с. 163 - 164.
2. *Сенин Л.Н., Сенина Т.Е.* Накопительная сейсмическая станция с цифровой коррекцией смещения нуля. Патент RU 2248592 С1. Опубл. Бюл. №8 20.05.2005 г.