



РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЯ УСКОРЕНИЙ В ШИРОКОМ АМПЛИТУДНОМ И ЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНАХ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОЙ МОДЕЛИ РАЗЛОМА

Краюшкин Д.В.¹, Казначеев П.А.¹, Кох В.В.¹, Майбук З.-Ю.Я.¹, Пономарев А.В.¹

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН), Россия, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1., 123242
KrayushkinDenV@yandex.ru

Реферат

Измерение ускорений является важной задачей для решения многих вопросов науки и техники. Технические параметры многих сложных инженерных задач требуют от акселерометров возможности измерения ускорений в широком амплитудном и частотном диапазонах. Именно поэтому МЭМС-акселерометры нашли широкое применение в медицине, навигации, прикладных и экспериментальных задачах геофизики. Цель работы заключается в разработке устройства измерения мгновенного ускорения на основе цифровых акселерометров. Исследования движения стик-слип в лабораторных условиях моделирования разлома показали недостаточность использования одного аналогового пьезоэлектрического датчика. Высокоамплитудные и быстрые перемещения объектов вводят такие датчики в насыщение, а слабые и медленные перемещения могут остаться незафиксированными системой регистрации. Эксперименты показали, что разработанный измеритель ускорений отлично подходит как для самостоятельного использования в рамках лабораторных экспериментов, например, для захвата мгновенных ускорений быстрых подвижек на модели разлома, так и для совместного использования с прецизионными аналоговыми датчиками, главным образом, за счёт широких амплитудных (от долей г до 500 г) и частотных (от 0 до 15 кГц) диапазонов.

Ключевые слова: цифровой акселерометр; измерение ускорений; МЭМС датчики; исследование быстрых смещений

THE DEVELOPMENT OF ACCELEROMETER WITH WIDE AMPLITUDE AND FREQUENCY RANGE FOR LABORATORY FAULT MODEL

Krayushkin D.V.¹, Kaznacheev P.A.¹, Kokh V.V.¹, Majbuk Z.-Ju. Ja.¹, Ponomarev A.V.¹

¹ *Schmidt Institute of Physics of the Earth RAS, Russian Federation, Moscow, B. Gruzinskaya str., 10, build. 1, 123242*

KrayushkinDenV@yandex.ru

Abstract

The measurement accelerations underlie many issues in science and technology. Measuring of acceleration in wide amplitude and frequency ranges requires complex engineering tasks. The development of a device for capturing acceleration based on digital MEMS-sensors is the purpose of this work. Studies of rapid sliding in laboratory fault models have indicated that using a single analog piezoelectric accelerometer isn't enough. There is sensor saturation with high amplitude and fast movements, and weak and slow movements may not be recorded by the registration system. Testing has shown that developed acceleration measurer is the best way for both independent uses in laboratory experiments and for joint action with precision analog sensors, mainly due to the wide amplitude (up to 500 g) and frequency (from 0 to 15 kHz) ranges.

Key Words: digital accelerometer; acceleration measurement; MEMS sensors; studies of rapid sliding

Введение

Измерение ускорений используется для решения различных научных и технических задач. В геофизических приложениях акселерометры используются для определения параметров движения при оценке влияния этого движения на измерения геофизических полей, оценки воздействий на сооружения и др.

Моделирование геодинамических процессов требует учета масштабных факторов. Модели разломных зон, которые можно построить в лаборатории, не превышают по размерам первых метров. При этом и в натурных, и в модельных исследованиях применяются акселерометры, которые различаются, прежде всего, частотным диапазоном [Кочарян, 2022]. В модельных исследованиях требуется переход на более высокие частоты измерения ускорений.

Широкое распространение микромеханических (МЭМС) сенсоров сделало возможным промышленный выпуск миниатюрных экономичных акселерометров со встроенной электроникой [Архипов, 2008]. Большой тираж и востребованность таких акселерометров существенно уменьшает их стоимость. Все эти особенности позволяют использовать современные промышленные МЭМС-акселерометры в научных исследованиях для дополнения данных прецизионных акселерометров.

В ходе наших предыдущих исследований было обнаружено [Казначеев, 2022], что применение только одного чувствительного аналогового пьезоэлектрического акселерометра не позволяет количественно охарактеризовать все наблюдаемые движения типа стик-слип в лабораторной слайдер-модели разлома. Амплитуды ускорений и характерные времена отличались, как минимум, на два порядка величины. При этом самые сильные и быстрые движения вводили датчик в насыщение, а медленные и малоамплитудные оказывались на грани обнаружения. Поскольку интерес представляют все возникающие в модели движения, включая моделирующие периоды сейсмического затишья, низкочастотных землетрясений и сейсмического крипа, то их корректная регистрация является важной и актуальной проблемой.

Методика

Задачей настоящей работы было создать измеритель ускорений, состоящий из нескольких акселерометрических датчиков, отличающихся рабочими амплитудным (динамическим) и частотным диапазонами (табл. 1). Комплексование датчиков позволяет расширить амплитудный и частотный диапазоны измерений ускорений по сравнению с каждым датчиком по отдельности.

Был разработан макет измерителя, учитывающий проблемы помехозащищенности. Основным узлом, который управляет, запрашивает, получает, нормирует данные с цифровых датчиков, является микроконтроллер STM32F303VST6. Для единообразия регистрируемых данных и отладки измерителя было принято решение преобразовывать цифровой сигнал в аналоговый при помощи выхода ЦАП микроконтроллера. При этом задержка между получением сигнала и его выводом в аналоговой форме была сделана фиксированной и минимально возможной.

Преобразование сигнала с аналоговых датчиков осуществлялось с помощью усилителя ZETLAB H440, который позволяет выбрать тип выходного сигнала аналогового датчика между напряжением, напряжением по ICP-IEPE (со встроенным усилением) и зарядовым выходом.

Информация о цифровых акселерометрах

Датчик	Н3LIS331DL (STM)	LIS331DLH (STM)	BC111 (ZETlab)	ДН-4-М1 (Виброприбор)
Параметр				
Тип	цифровой MEMS	цифровой MEMS	аналоговый пьезоэлектр.	аналоговый пьезоэлектр.
Усиление, вых. сигнал (интерфейс)	внутреннее, SPI/I2C	внутреннее, SPI/I2C	внутреннее, напряжение по ICP-IEPE	внешнее, зарядовый
Количество осей	3	3	1	1
Амплитудный диапазон	±400 g	±8 g	±500 g	±420 g
Частотный диапазон, Гц	0 ... 700	0 ... 700	0.5 ... 15000	0.5 ... 12600
Помехо- устойчивость	хорошая	хорошая	хорошая	плохая
Стоимость	низкая	низкая	высокая	высокая

Результаты

В рамках исследования работы макетного образца измерителя ускорений был проведен ряд экспериментов, связанных с тестовым ударным воздействием. Акселерометры были закреплены на массивном зонде. Эксперимент включал в себя получение временных зависимостей мгновенных ускорений с цифровых и аналоговых акселерометров при строго вертикальном ударе зонда о горизонтальную поверхность (с промежуточным демпфированием мягким материалом, для более низкочастотного характера изменения ускорения), а также при боковом ударе. Пример осциллограмм при вертикальном ударе показан на рис. 1.

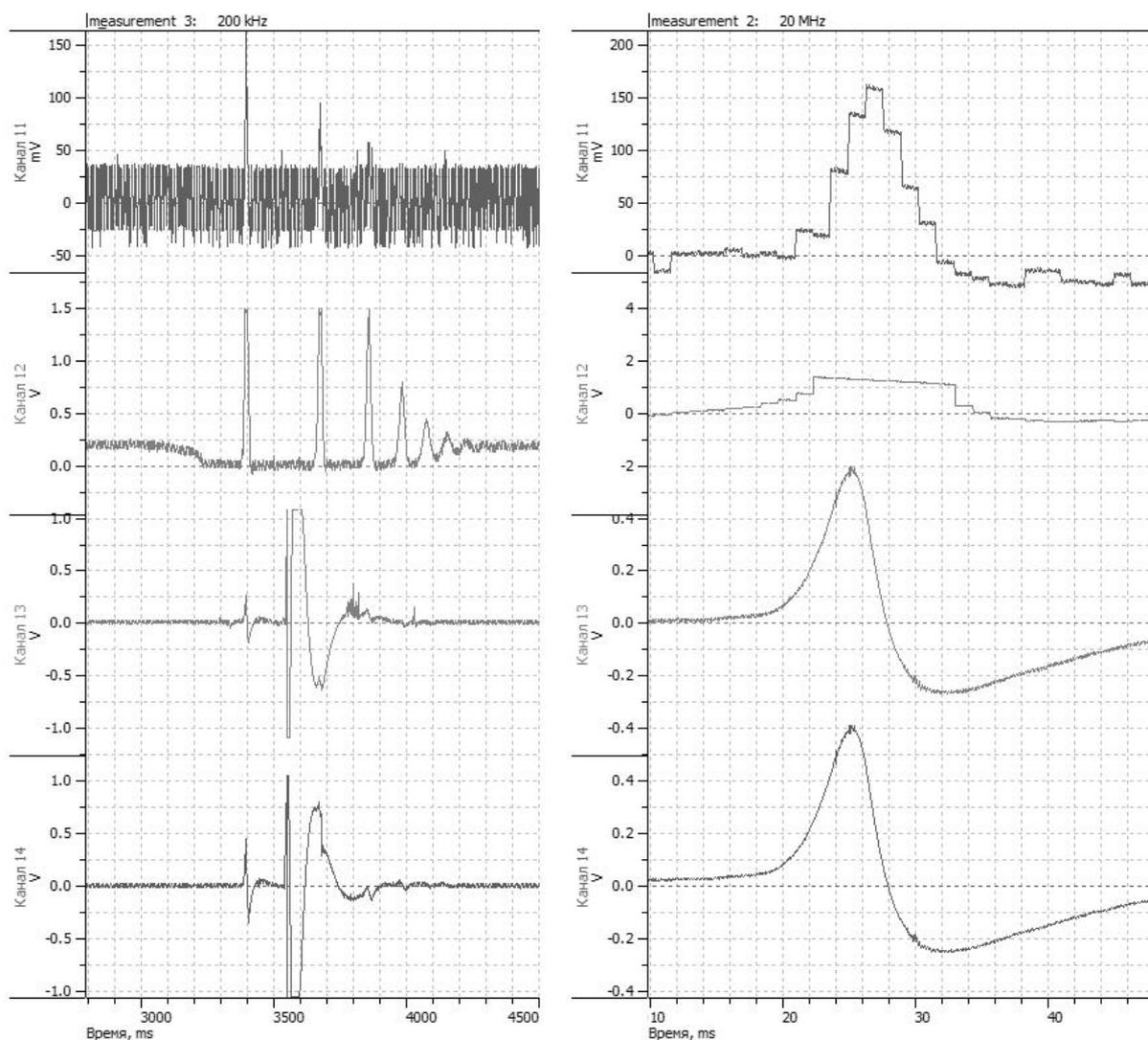


Рис. 1. Вертикальная составляющая ускорений, зарегистрированная разными датчиками.

Сверху вниз: H3LIS331DL, LIS331HDL, BC111, ДН-4-М1.

Слева – весь удар; по данным акселерометра LIS331HDL видно постоянное ускорение свободного падения в начале и конце записи (до отпускания зонда и после удара) и состояние свободного падения непосредственно перед ударом. Справа – увеличенный фрагмент с самим ударом.

Заключение

Разработан измеритель ускорений в широком амплитудном (от долей g до 500 g) и частотном (от 0 до 15 кГц) диапазонах, предназначенный для лабораторных исследований быстрых подвижек на модели разлома. Он объединяет несколько датчиков. Тестовые эксперименты показали согласованность их сигналов.

Работа выполнена в рамках гос. задания ИФЗ РАН.

Литература

Архипов А.М., Иванов В.С., Панфилов Д.И. Датчики Freescale Semiconductor. – М.: Додэка-XXI, 2008. – 184 с.

Казначеев П.А., Майбук З.-Ю.Я., Пономарев А.В., Соболев Г.А., Кох В.В., Краюшкин Д.В. Оценка энергии подвижки в экспериментах типа стик-слип // Триггерные эффекты в геосистемах. – М.: ИДГ РАН, 2022. – С. 181.

Кочарян Г.Г., Остапчук А.А., Павлов Д.В., Гридин Г.А., Морозова К.Г., Hongwen J., Пантелеев И.А. Лабораторные исследования закономерностей фрикционного взаимодействия блоков скальной породы метрового масштаба. Методика и первые результаты // Физика Земли. № 6. – 2022. – С. 162-174.