

**ПРИМЕНЕНИЕ 24-БИТНЫХ АЦП DATA TRANSLATION
ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОГО ЛАЗЕРНОГО ИНКЛИНОМЕТРА:
О МЕТОДАХ МИНИМИЗАЦИИ ШУМОВ И КОМПЕНСАЦИИ
РАССИНХРОНИЗАЦИИ КАНАЛОВ**

В. Г. Верниковский

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научные руководители: Ю. В. Крышнев, Ю. А. Будагов

Введение. Прецизионный Лазерный Инклинометр (ПЛИ) представляет собой двухкоординатный угловой сейсмограф, который в среднечастотном диапазоне (от нескольких часов до нескольких минут) может регистрировать в угловом представлении микросейсмические явления: удаленные землетрясения, микросейсмические колебания типа «микросейсмический пик», деформацию поверхности Земли Луной, Солнцем и т. д. Точность данного прибора составляет $0,1$ нрад/Гц^{1/2}. Благодаря высокой точности прибор незаменим в широком классе задач, требующих высокоточной стабилизации пространственного положения ускорителей/коллайдеров, гравитационных антенн, крупномасштабных телескопов и пр.

Одним из ключевых элементов электроники ПЛИ является АЦП. В ПЛИ используются многоканальные 24-битные АЦП DT9828 и DT9824, обладающие рядом как достоинств, так и недостатков. Важнейшими требованиями, предъявляемыми к АЦП, является их быстродействие, устойчивость к температурным и электромагнитным воздействиям и одновременность работы их каналов.

В данный момент стоит проблема выбора одного из двух АЦП, так как 8-канальный АЦП DT9828 имеет главным своим недостатком временную сдвигку в записи между каналами, в то время как 4-канальный DT9824 работает синхронно. В свою очередь, DT9824 обладает высоким пороговым сигналом по входам (около 10 В) и чувствительностью 10^{-6} В/Гц^{1/2}, из-за чего в системе необходимо устанавливать предуселитель. АЦП DT9828 с пороговым сигналом 0,156 В и чувствительностью 10^{-8} В/Гц^{1/2} не требует установки предуселителя. Учитывая перечисленные достоинства и недостатки каждого из АЦП, были выработаны методики компенсации рассинхронизации работы каналов и минимизации долговременных шумов на входах, вызванных внешними воздействиями.

Методы минимизации шумов АЦП. На рис. 1 показаны измеренные суточные шумы четырех каналов 24-битного АЦП DT9824 с временем измерения 0,1 с. Измерения проводились в условиях лабораторной комнаты с вариацией температуры день/ночь, достигающей нескольких градусов. Как видно из рисунка, наблюдаются как долговременное изменение шумов, вызванное такими факторами, как изменение температуры, радиофон, так и кратковременное (за 10–15 мин, промежуток А) увеличение шумов, имеющее индустриальную природу (работа электроинструмента и т. д.).

Для уменьшения погрешности измерения разработан метод «Реперного канала». Суть метода состоит в использовании данных о вариации шумов АЦП одного из каналов для уменьшения их влияния в оставшихся. Таким образом, из четырех каналов АЦП рабочими остаются три, а один используется в качестве реперного.

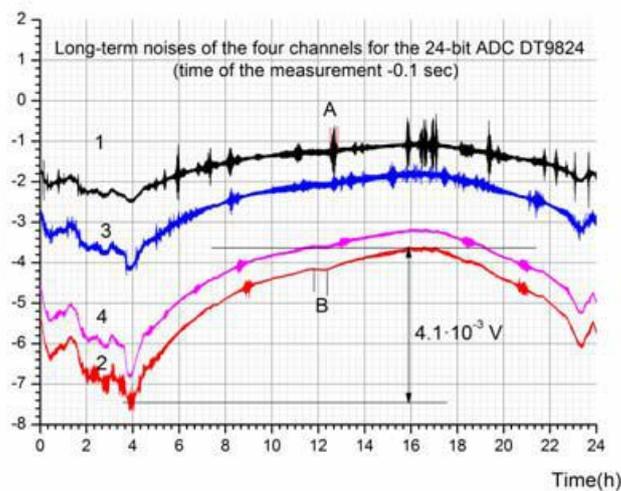


Рис. 1. Долговременные (24 часа) шумы АЦП до нормирования

Из рис. 1 видно, что шумы в каналах 1–4 имеют «согласованный» дрейф. Каждому каналу АЦП сопоставляется «масштабный коэффициент» относительно канала 2 с максимальной амплитудой шума. Экспериментально были определены масштабные коэффициенты 1, 3 и 4 каналов относительно второго. Для данных на рис. 1 они составили $K_1 = 2,71$; $K_2 = 1$; $K_3 = 1,70$; $K_4 = 1,15$. Умножив значения шумов на масштабные коэффициенты, получаем данные с примерно одинаковой вариацией шума во всех четырех каналах (рис. 2, а). Далее из нормированных показаний каждого из каналов вычитаются показания второго канала (рис. 2, б).

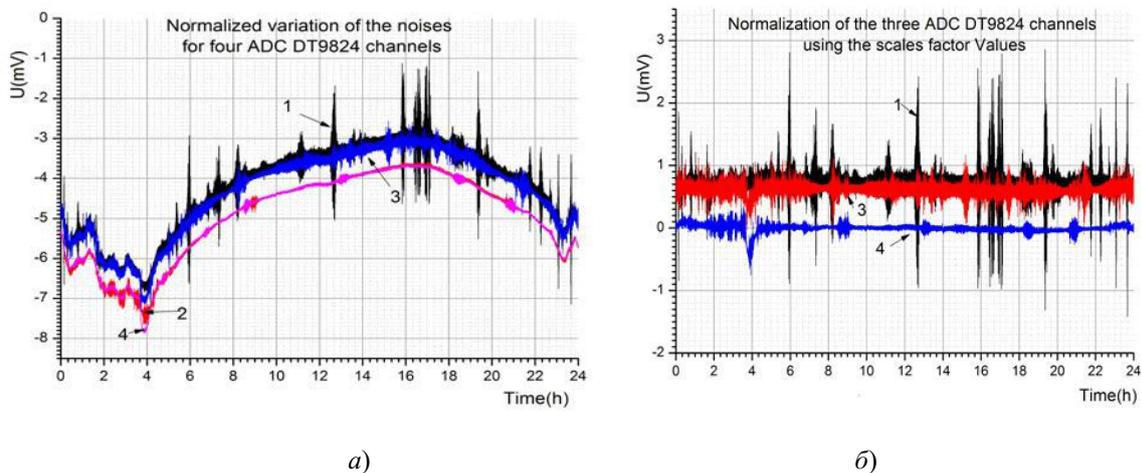


Рис. 2. Компенсация шумов 1, 3 и 4 каналов с использованием сигнала 2 канала DT9824

Как видно из рис. 2, достигнуто существенное – в 20 раз – уменьшение долговременных шумов АЦП при помощи компенсации вычитанием.

Одна из причин дрейфа шумов АЦП – это изменение внешней температуры [1]. Поэтому были исследованы шумы АЦП в температурно-стабильной лаборатории с суточной температурной нестабильностью лучше $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ [2]. В ней также имеется изоляция от внешнего электромагнитного поля высокой частоты (радиофон).

Использование температурно-стабильных и радиоизолированных условий уменьшило шумы АЦП в 240 раз.

Методы компенсации рассинхронизации работы каналов АЦП. При помощи генератора AFG 3091 Textronix подавался синусоидальный сигнал 0,6 мВ на частоте 0,4 Гц на восемь входов АЦП. Выходные сигналы АЦП записывались компьютером.

Прецизионным вольтметром (точность измерения 1 мкВ) измерялось различие амплитуд сигналов, подаваемых одновременно на восемь каналов АЦП.

Обнаружилось, что выходные сигналы в каналах АЦП имели разные амплитуды. Различие в амплитудах не превышало 8 %. Соответствующая поправка была определена и внесена.

С учетом корректирующих поправок на рис. 3 показаны выходные сигналы с первого и восьмого каналов; регистрация осуществлялась на частоте 10 Гц.

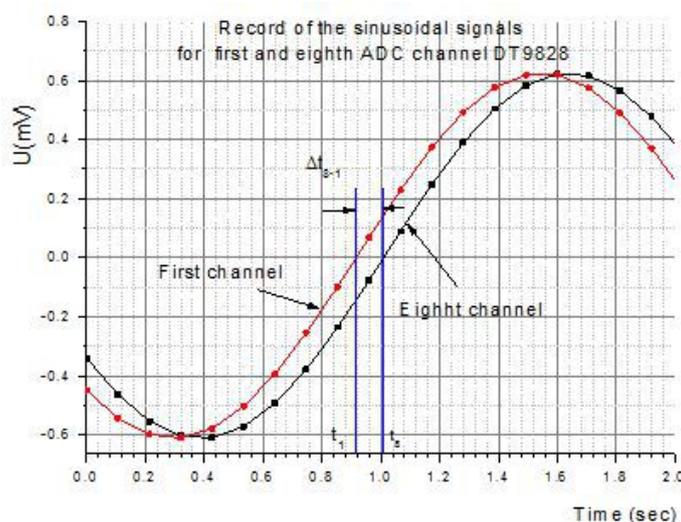


Рис. 3. Синусоидальные сигналы (0,4 Гц) первого и восьмого каналов АЦП DT9828

Наблюдается временная сдвигка $\Delta t_{8-1} = t_8 - t_1$ в записи первого и восьмого каналов. Для ее определения данные каждого канала были аппроксимированы. Электронный переключатель каналов в этом АЦП работает последовательно: измерения начинаются с первого канала и заканчиваются восьмым. Поэтому временная сдвигка максимальна между первым и восьмым каналами: при частоте записи 10 Гц величина $\Delta t_{1-8} = 93,45$ мс. Для оценки точности измерения временных сдвижек были вычислены временные задержки как между первым и последующими каналами, так и между соседними каналами. Временные задержки между первым и последующими каналами были поделены на количество разделяющих каналов плюс один. По совокупности данных была определена величина средней задержки Δt_{cp} и ее среднеквадратичная ошибка u_{cp} : при частоте записи 10 Гц $\Delta t_{cp} = 13,36 \pm 0,04$ мс.

Имея величину средней задержки Δt_{cp} между соседними каналами, «восстановим одновременность» во всех восьми каналах. Это позволит использовать данный тип АЦП для регистрации сигналов без временных задержек.

Заключение. Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Экспериментально исследованы шумы двух типов АЦП DT9824 и DT9828 в условиях лабораторного помещения. Разработана и применена методика уменьшения температурных шумов АЦП DT9824. Определены временные задержки в записи сигнала для восьми каналов АЦП DT9828.

2. Используя методику «Реперного канала», получено уменьшение долговременных шумов в 20 раз для DT9824. Использование термостабильных и радиоизолированных условий дало уменьшение шумов в 240 раз.

Величина средней временной задержки Δt_{cp} в записи сигнала для каждого из восьми каналов и ее среднеквадратическая ошибка σ_{cp} на частоте записи 10 Гц составили $\Delta t_{\text{cp}} = 13,36 \pm 0,04$ мс.

Л и т е р а т у р а

1. Долговременные измерения Прецизионного Лазерного Инклинометра в термостабильных условиях / Н. С. Азарян [и др.] // Письма в ЭЧАЯ, Дубна. – 2015. – № 4.
2. Стабилизация температуры воздуха в теплоизолированной оптической лаборатории / Ю. А. Будагов [и др.] // Письма в ЭЧАЯ, Дубна. – 2014. – № 11.