



Лаборатория Ядерных Проблем им. В.П. Дзелепова  
НАУЧО-МЕТОДИЧЕСКИЙ СЕМИНАР

# Применение 24-битных АЦП Data Translation для Прецизионного Лазерного Инклинометра: о методах минимизации шумов и компенсации рассинхронизации каналов

ОИЯИ: Н.С. Азарян, Ю.А. Будагов, М.В. Ляблин, А.А. Плужников;  
ЦЕРН: Ж. Кр. Гайде, Б. Ди Джироламо, Д. Мергелькуль;  
ГГТУ: В.Г. Верниковский, О.С. Смыковский.

Дубна, 26 января 2017 г

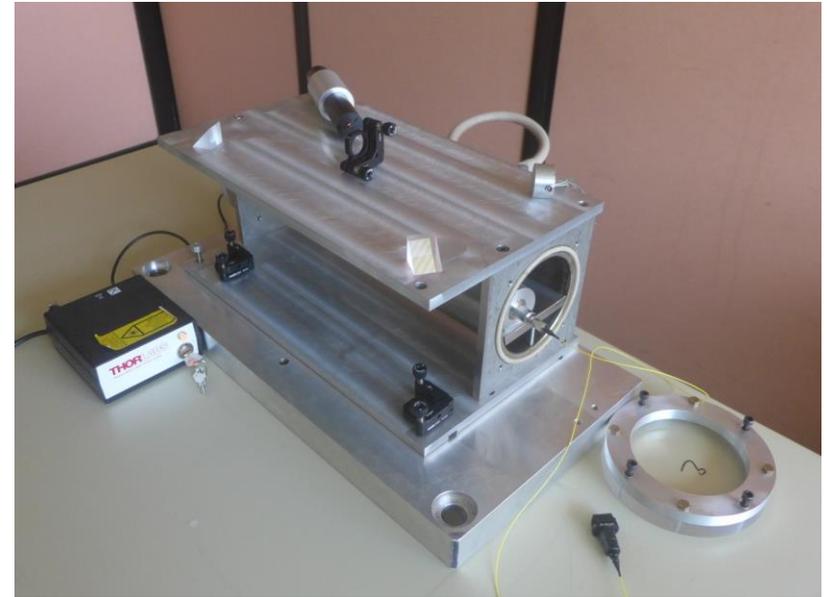
# Прецизионный Лазерный Инклинометр (ПЛИ)

ПЛИ – единственный в мире точный прибор этого класса; востребован для мониторинга светимости машин мультитерагерцового диапазона. Незаменим в широком классе задач, требующих высокоточной стабилизации «исследовательской платформы»

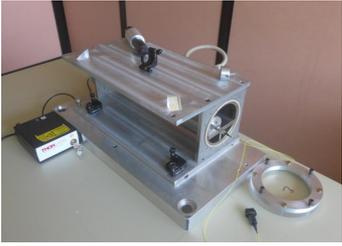
- коллайдеры,
- гравитационные антенны,
- крупномасштабные телескопы и пр.

## Достигнутые характеристики:

- рабочий диапазон –  $5 \cdot 10^{-6} - 5$  Гц;
- разрешение:  $10^{-9}$  рад/Гц<sup>1/2</sup>.



Сегодня ПЛИ ясно видит деформацию поверхности Земли под воздействием Луны и Солнца, удаленные землетрясения, колебания индустриального происхождения.



24 bit  
ADC



Host computer

- Control
- DAQ
- Calibration
- Readout
- Storage



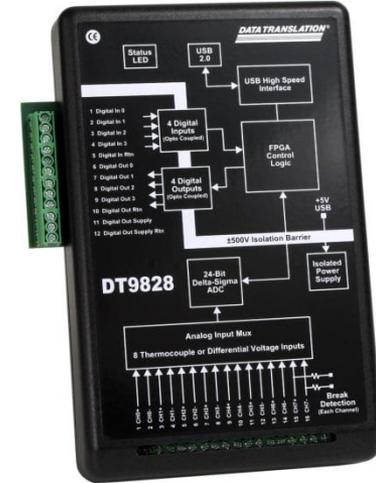
Storage



## DT9824

### Isolated Precision USB DAQ

- $\pm 500V$  Isolation Ch-to-Ch and to earth ground
- 4 simultaneous analog inputs
- 24-bit Delta-Sigma ADC/ch
- Input gains of 1, 8, 16, and 32 with input ranges of  $\pm 10V$
- Up to 4800 Hz/ch sampling
- 16 opto-isolated digital I/O lines



## DT9828

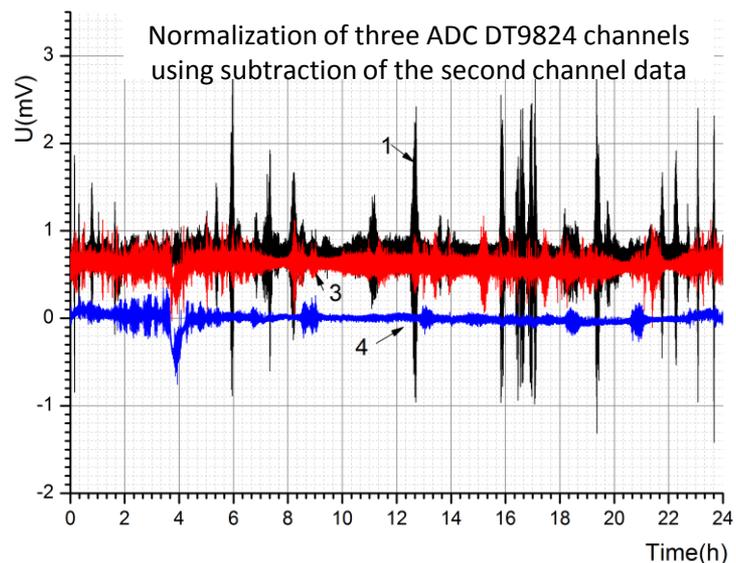
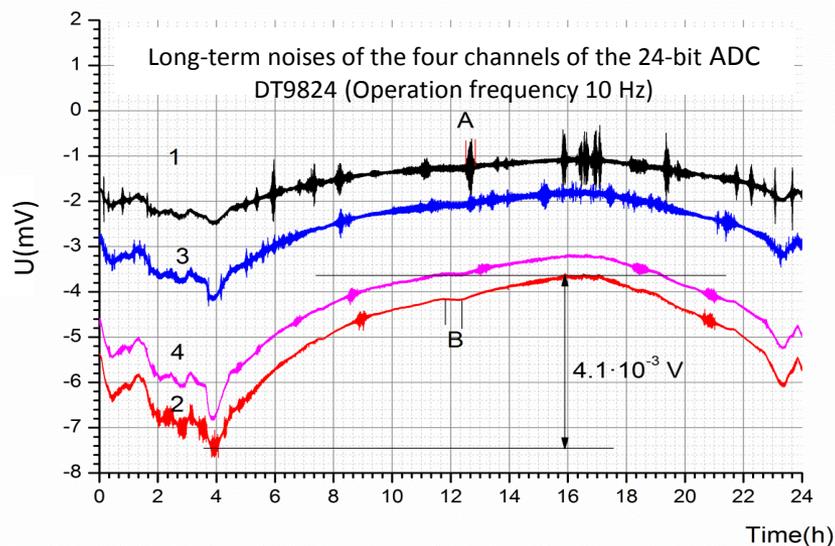
### Low-Cost USB Thermocouple DAQ

- $\pm 500V$  galvanic isolation
- 8DI analog inputs
- 24-bit resolution
- Sampling rate: 600 Hz
- Input range:  $\pm 156mV$

# Внутренние шумы DT9824

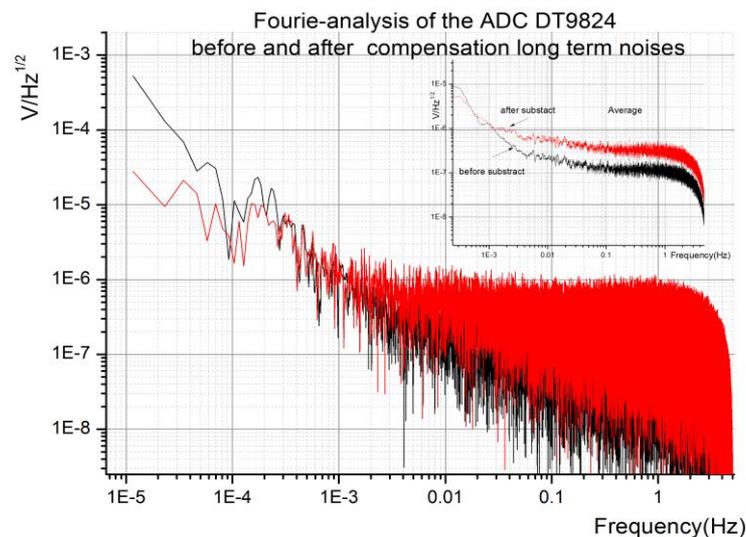
$$RMS_B = 5 \text{ мкВ}$$

$$RMS_A = 165 \text{ мкВ}$$



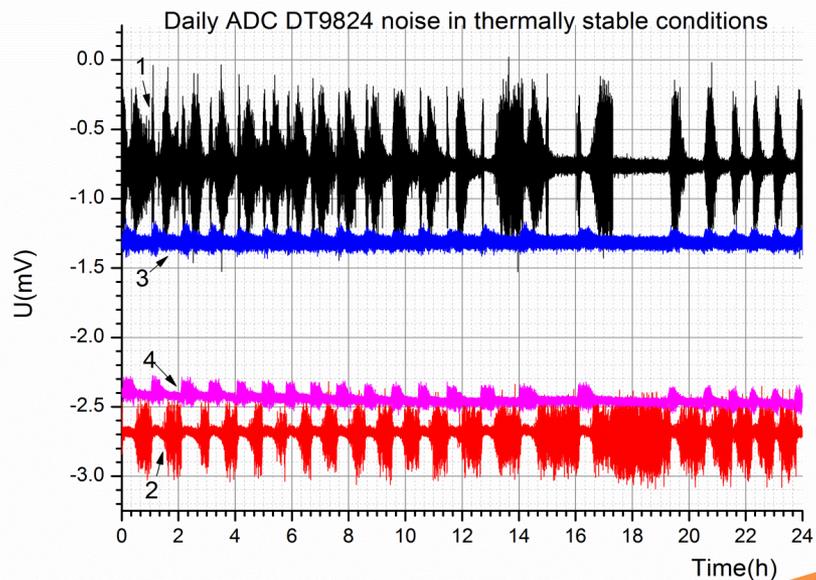
№ канала	$RMS$ (сутки)	$RMS$ (компенс.)
1	$0.4 \cdot 10^{-3} \text{ В}$	$1.4 \cdot 10^{-4} \text{ В}$
2	$1.1 \cdot 10^{-3} \text{ В}$	---
3	$0.6 \cdot 10^{-3} \text{ В}$	$8.0 \cdot 10^{-5} \text{ В}$
4	$0.9 \cdot 10^{-3} \text{ В}$	$7.0 \cdot 10^{-5} \text{ В}$

Компенсация путём нормировки на один из каналов уменьшает долговременные низкочастотные шумы DT9824 в 20 раз

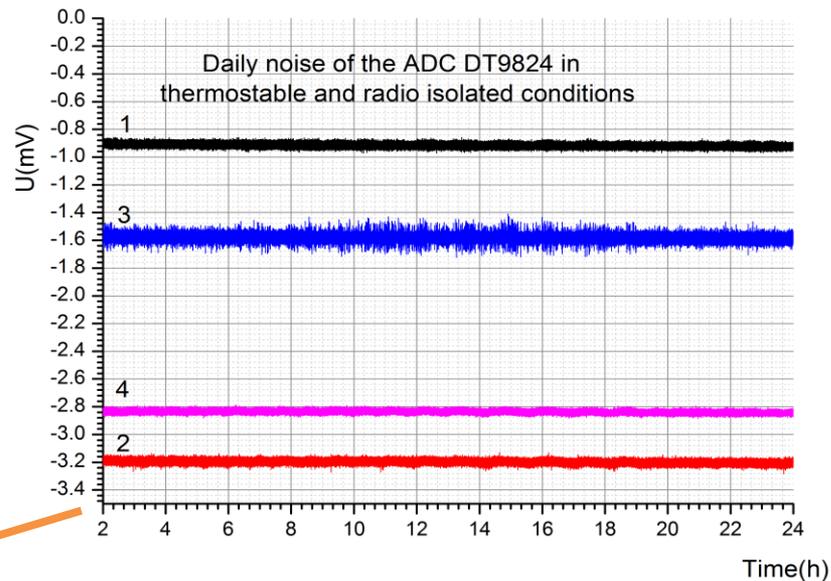


# Причины шумов

## Термоизоляция

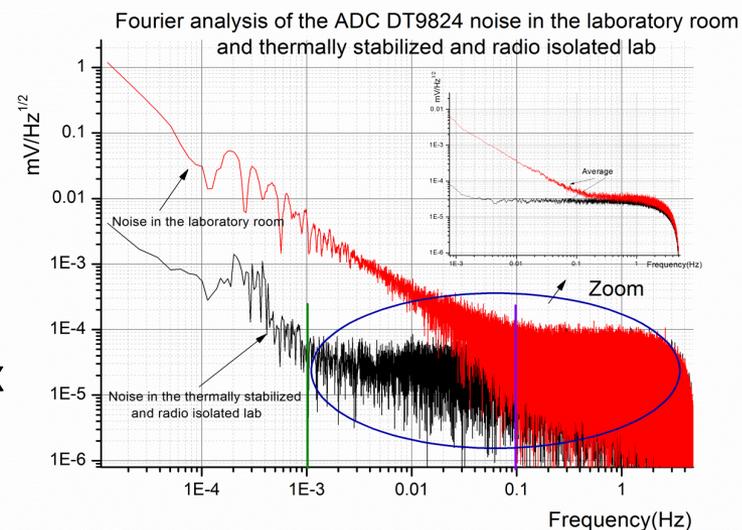


## Термоизоляция + Радиоизоляция

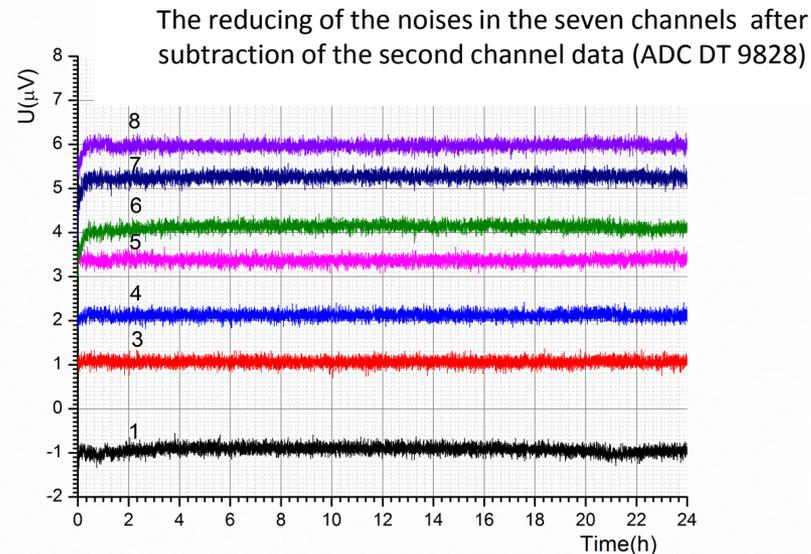
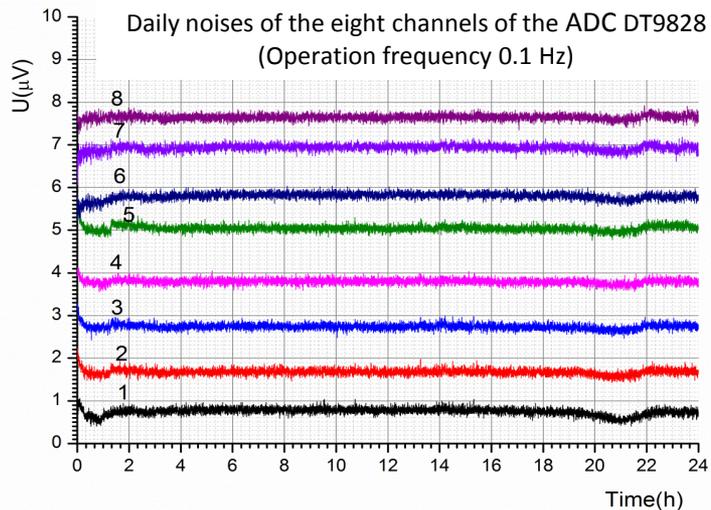


№ канала	RMS
1	$1.2 \cdot 10^{-5}$ В
2	$1.3 \cdot 10^{-5}$ В
3	$1.9 \cdot 10^{-5}$ В
4	$1.0 \cdot 10^{-5}$ В

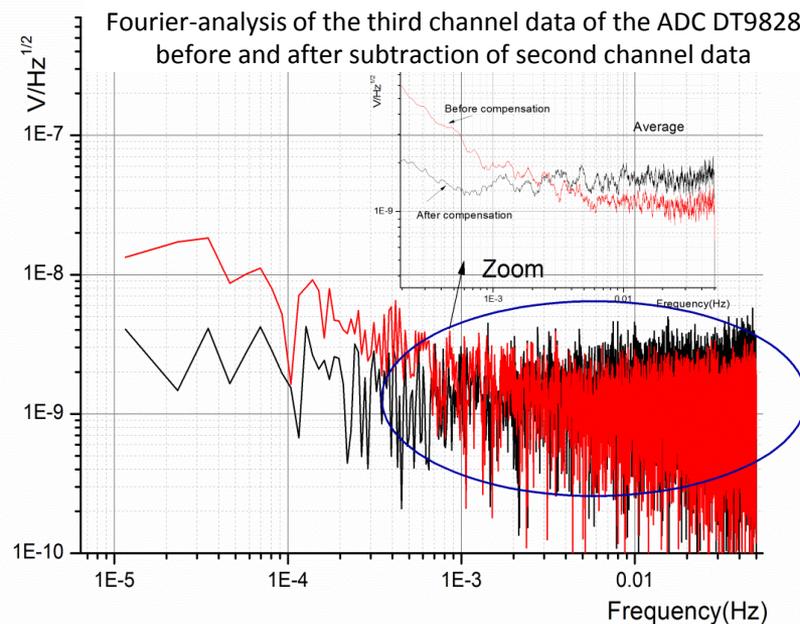
В термоизолированных и радиоизолированных условиях низкочастотные шумы DT9824 уменьшены в 240 раз



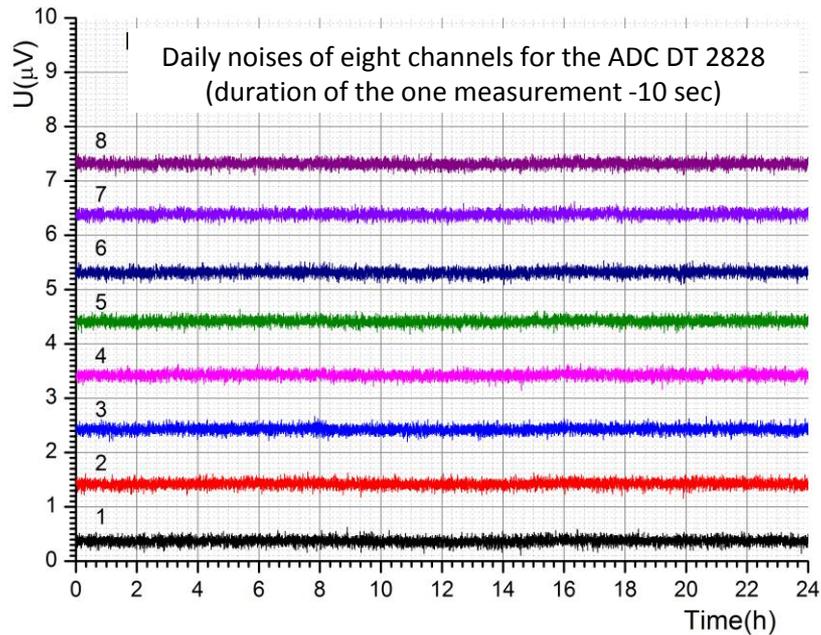
# Внутренние шумы DT9828



Компенсация нормировкой на один из каналов уменьшает низкочастотные шумы DT9828 в 6 раз

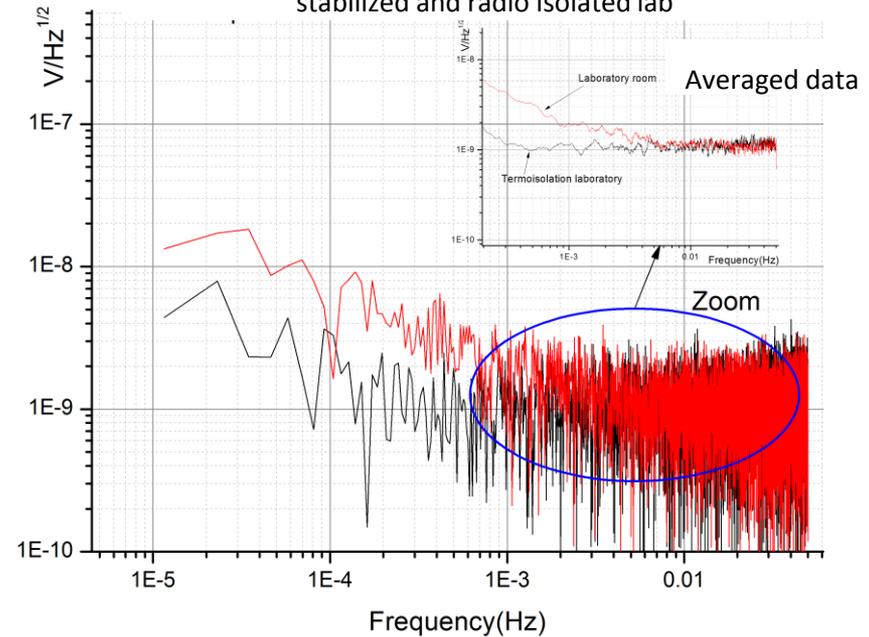


# Термоизоляция + Радиоизоляция DT9828



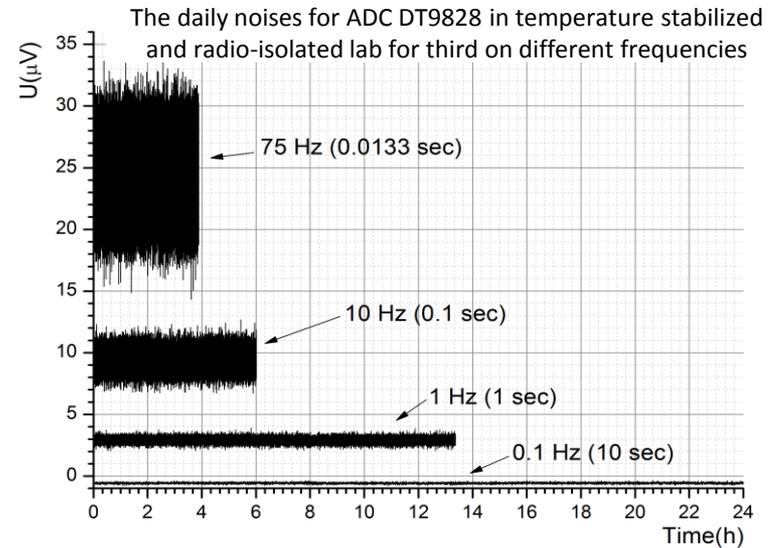
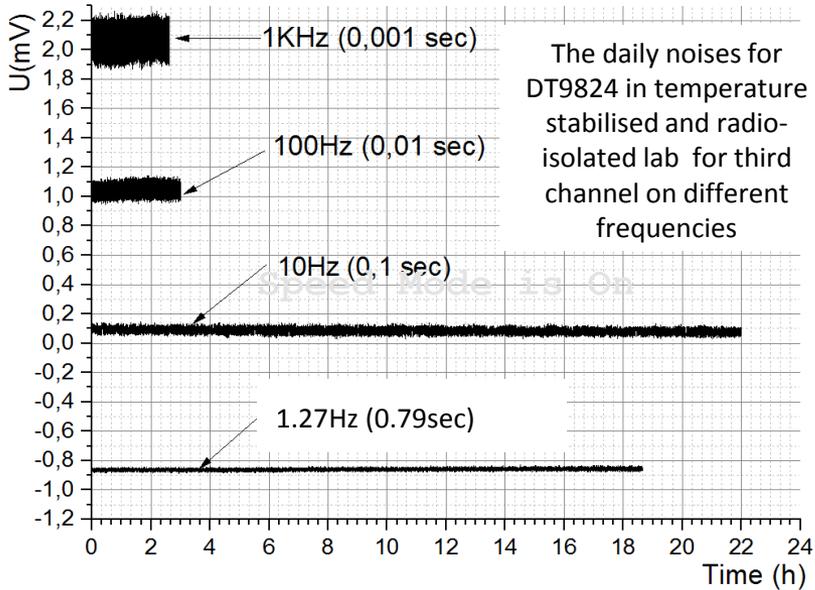
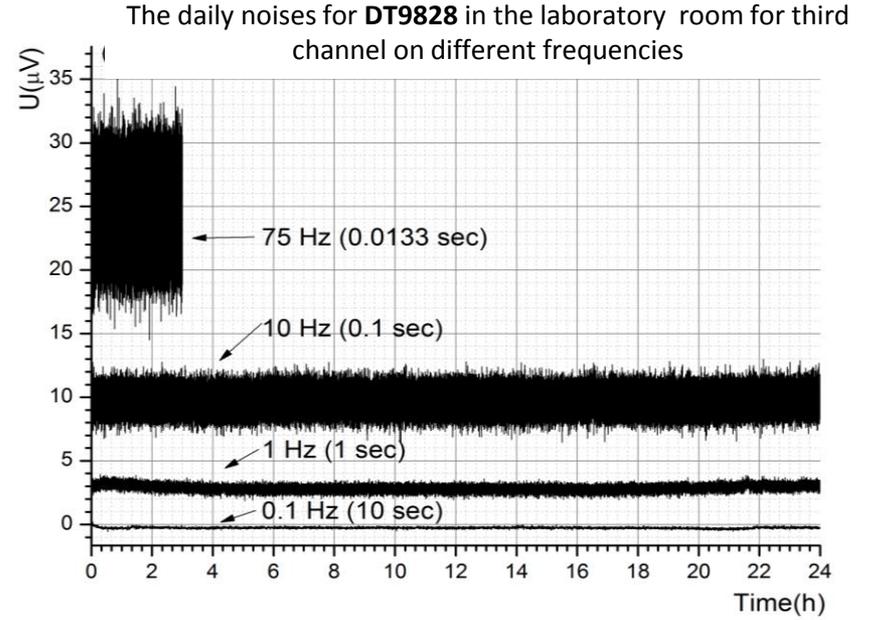
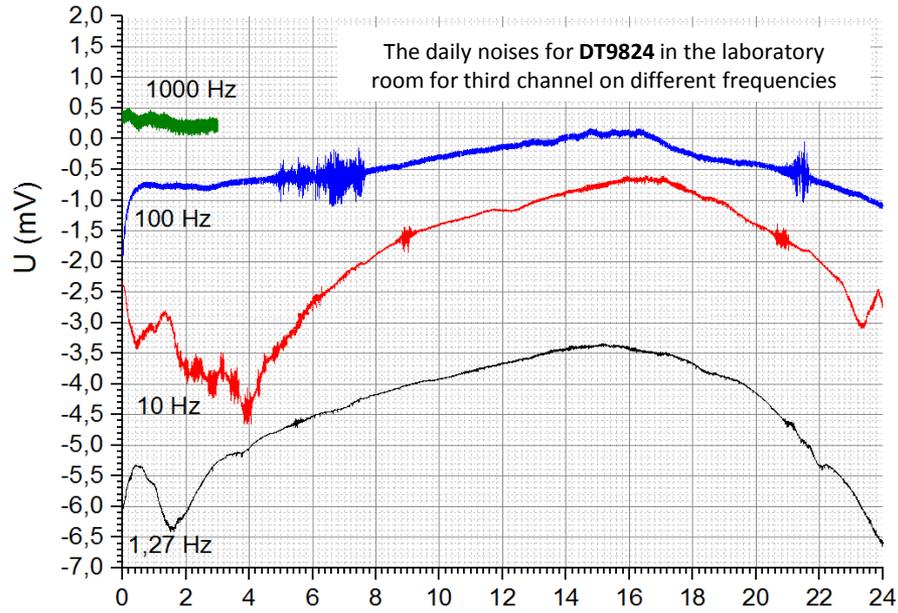
$$RMS = 61 - 62 \text{ нВ}$$

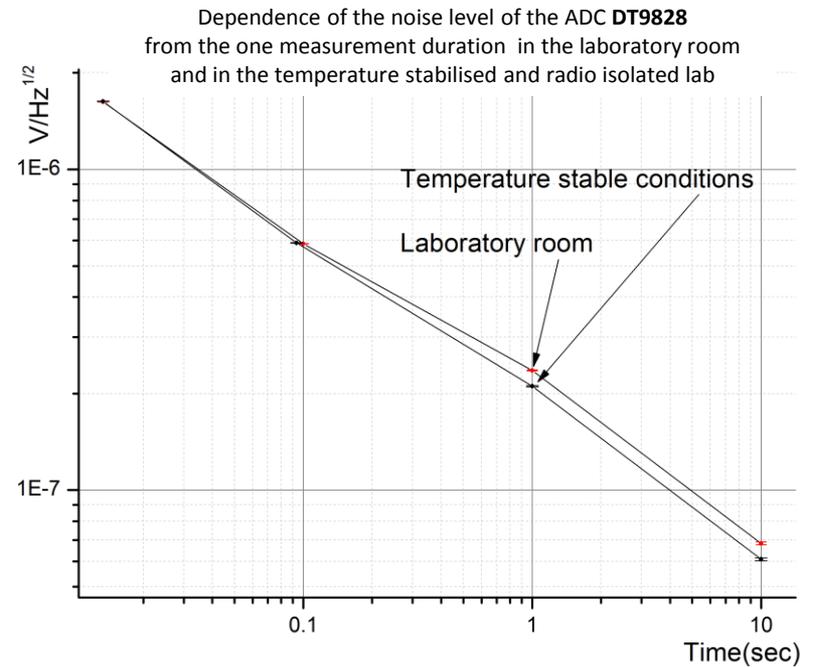
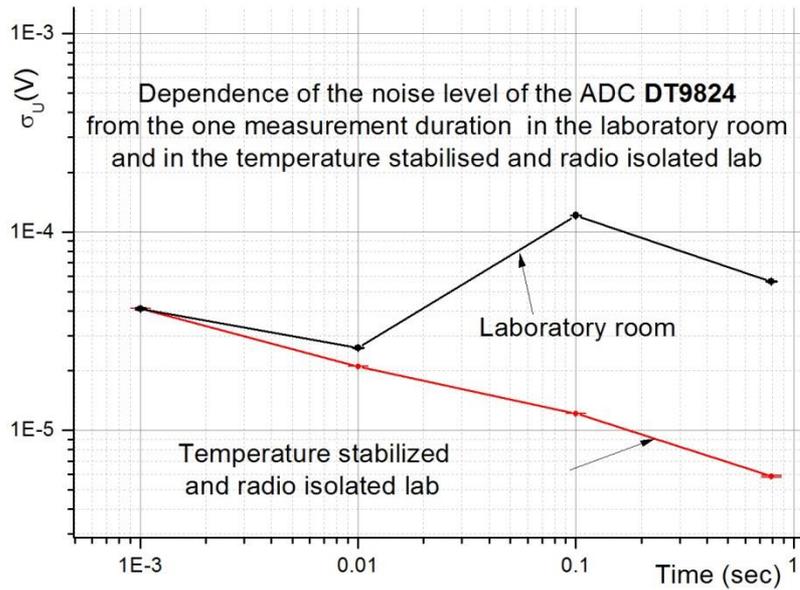
Fourier-analysis of the third channel data of the ADC DT9828 in the laboratory room and in the temperature stabilized and radio isolated lab



В температурно-стабильной и радиоизолированной лаборатории низкочастотные шумы DT9828 уменьшены в 3 раза

# Зависимость внутренних шумов от частоты АЦП





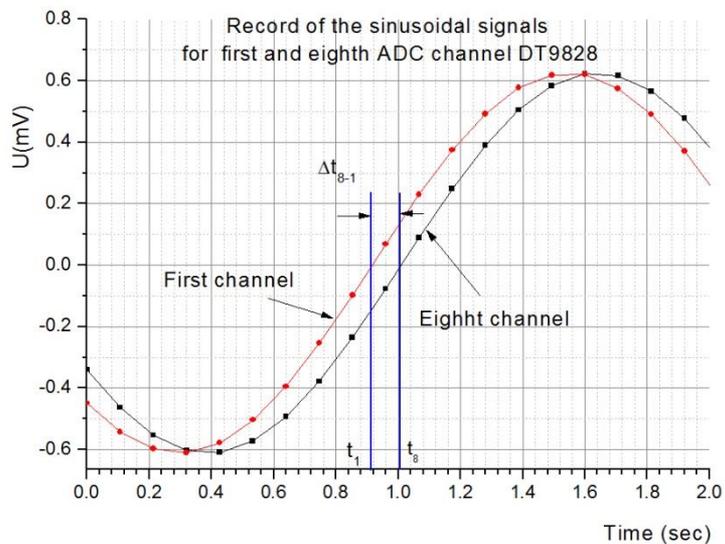
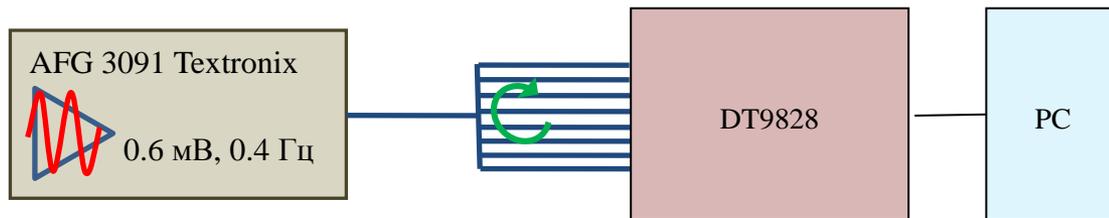
### Относительное разрешение ( $RMS_U/dU$ ) на частоте 10 Гц

Диапазон, Гц		$10^{-5} - 10$	$10^{-5} - 1$	$10^{-5} - 10^{-1}$	$10^{-5} - 10^{-2}$	$10^{-5} - 10^{-3}$	$10^{-5} - 10^{-4}$
АЦП	DT9824	8.5	5.2	3.8	3.7	3.6	3.0
	DT9828	29.5	9.4	2.9	1.0	0.5	0.4

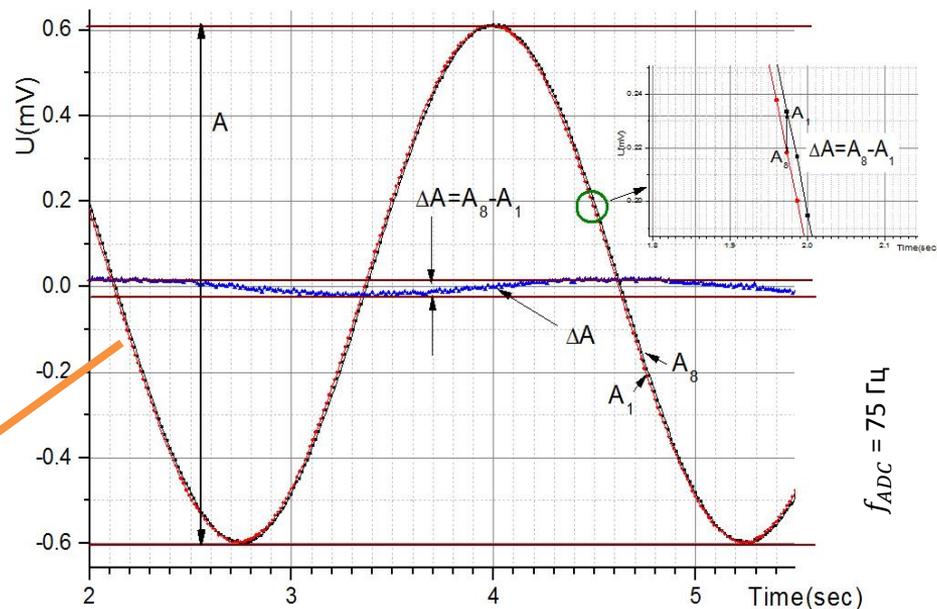
### Предельно достижимая точность инклинометра, рад

Диапазон, Гц	ВЧ ( $10^{-1} - 10$ )	НЧ ( $10^{-5} - 10^{-1}$ Гц)
DT9824	$8 \cdot 10^{-10} - 4 \cdot 10^{-9}$	$4 \cdot 10^{-10} - 8 \cdot 10^{-10}$
DT9828	$1.2 \cdot 10^{-11} - 1.2 \cdot 10^{-10}$	$4 \cdot 10^{-12} - 1.2 \cdot 10^{-11}$

# Компенсация рассинхронизации каналов DT9828



$f_{ADC}$	10 Гц	25 Гц	37.5 Гц	75 Гц
$\Delta t_8$ (мсек)	93.45	35.75	23.73	11.76
$\Delta t_1$ (мсек)	13.36	5.11	3.40	1.69
$RMS_{\Delta t_1}$ (мсек)	0.04	0.10	0.08	0.04



$$\frac{\Delta A}{A} \sim 3\%$$

## Выводы

Предложена методика компенсации внешнего долговременного температурного воздействия на шум АЦП с использованием в качестве репера одного из каналов АЦП. Установлена причина шумов АЦП – температурная нестабильность и радионаводки.

	DT9824	DT9828
Компенсация реперным каналом	20 раз	6 раз
Термоизоляция + радиоизоляция	240 раз	3 раза

Полученные результаты обеспечивают повышение чувствительность ПЛИ в долговременных измерениях.

Достижимая чувствительность ПЛИ, рад		
	Выс. Част.	Низ. Част.
DT9824	$8 \cdot 10^{-10} - 4 \cdot 10^{-9}$	$4 \cdot 10^{-10} - 8 \cdot 10^{-10}$
DT9828	$1.2 \cdot 10^{-11} - 1.2 \cdot 10^{-10}$	$4 \cdot 10^{-12} - 1.2 \cdot 10^{-11}$

Определены величины рассинхронизации каналов DT9828 в зависимости от операционной частоты и предложена методика компенсации, введя корректирующие временные сдвиги.

Точность амплитудного сигнала без корректировки по времени составляет 3%, что обеспечивает чувствительность ПЛИ  $3 \cdot 10^{-10} - 3 \cdot 10^{-9}$  рад на частоте микросейсмического пика.



Лаборатория Ядерных Проблем им. В.П. Дзелепова  
НАУЧО-МЕТОДИЧЕСКИЙ СЕМИНАР

**Применение 24-битных АЦП Data Translation для Прецизионного Лазерного  
Инклинометра: о методах минимизации шумов и компенсации  
рассинхронизации каналов**

# **СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**

ОИЯИ: Н.С. Азарян, Ю.А. Будагов, М.В. Ляблин, А.А. Плужников;  
ЦЕРН: Ж. Кр. Гайде, Б. Ди Джироламо, Д. Мергелькуль;  
ГГТУ: В.Г. Верниковский, О.С. Смыковский.

Дубна, 26 января 2017 г