УДК 621.396.621

О проблеме применения цифрового осциллографа для калибровки имитатора навигационных сигналов

А.Н. Верещагин, А.Ю. Тараненко, М.М. Валиханов

Сибирский федеральный университет

Аннотация: в данной работе описана проблема высокоточного измерения сигнала имитатора навигационных сигналов цифровым осциллографом. Исследовалось влияние изменения группового времени запаздывания, от величины усиления в канале цифрового осциллографа. Проведено сравнение псевдодальности при различных значениях мощности формируемого имитатором сигнала. По результатам измерений получена оценка изменения ГВЗ от усиления в канале цифрового осциллографа.

Ключевые слова: цифровой осциллограф, имитатор навигационных сигналов, групповое время запаздывания, усиление.

1. Введение

В настоящее время для поверки аппаратуры потребителей глобальных спутниковых навигационных систем используются имитаторы навигационных сигналов (ИНС). Для калибровки ИНС известен способ с помощью цифрового осциллографа [1]. В этом случае требуется знать групповое время запаздывания (ГВЗ) в канале осциллографа с высокой точностью – единицы-десятки пикосекунд [2, 3]. Для калибровки ИНС наиболее значимыми являются АЧХ и параметры развертки каналов осциллографа. В литературе известны способы калибровки цифровых осциллографов [4, 5], которые позволяют произвести оценку развертки каналов с погрешностью не хуже 0,5 нс, например, при использовании калибратора осциллографов Fluke 5820A составит 0,33 нс. Для осциллографов со встроенным генератором и опцией самокалибровки может быть достигнута точность 0,1 нс [6, 7]. При этом в соответствии с ГОСТ 8.964-2019 изменение ГВЗ от величины усиления в канале не нормируется и не поверяется [8]. Целью данной работы является оценка изменения ГВЗ, от величины усиления в канале цифрового осциллографа.

2. Подготовка образцов и экспериментальные результаты

Рассмотрим устройство и порядок записи сигналов в цифровом осциллографе, схема которого приведена на рис. 1. Сигнал поступает в усилитель вертикального отклонения (УВО). Органы управления вертикальным отклонением позволяют регулировать амплитуду и положение развертки сигнала. Далее, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) в системе горизонтального отклонения осуществляет выборку сигнала в дискретных точках определенного временного интервала и преобразует напряжение исследуемого сигнала в этих точках в цифровые значения – выборки. Выборки с АЦП сохраняются в оперативной памяти прибора в качестве элементов описания формы сигналов. Некоторое количество выборок могут составить одну точку развертки сигнала. Взятые вместе точки развертки сигнала составляют одну развертку сигнала [9].

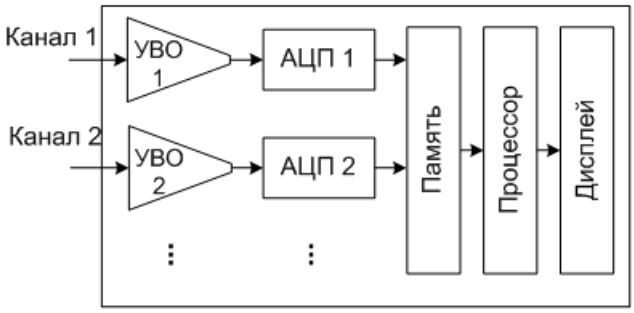

Рисунок 1. Архитектура последовательной обработки входных сигналов цифровым запоминающим осциллографом на примере двух каналов

Таким образом, одним из важных факторов, который влияет на оценку абсолютной погрешности формирования задержки сигнала ИНС, является вертикальная развертка УВО, что в свою очередь приводит к изменению задержки в нем.

В СФУ на стенде была проведена оценка влияния вертикальной развертки осциллографа оценку задержки имитируемого навигационного сигнала. Схема испытательного стенда приведена на рис. 2.

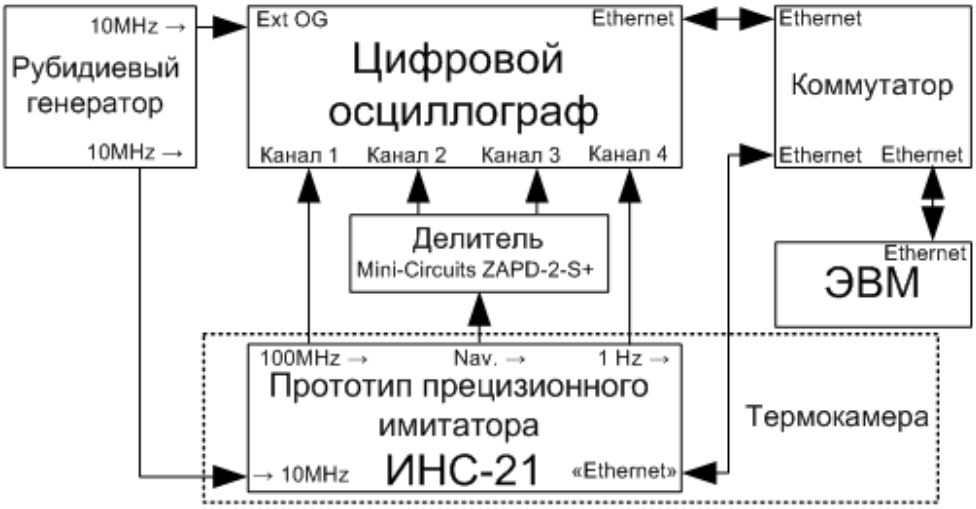

Рисунок 2. Стенд для исследования задержки имитируемого навигационного сигнала

В качестве источника навигационного сигнала использовался прототип прецизионного имитатора навигационных сигналов ИНС-21, который был разработан в СФУ. Проведение эксперимента и получение результатов возможно только для имитатора с высокой мощностью выходного сигнала и низким уровнем собственных шумом [1]. В ИНС-21 среднеквадратическое отклонение погрешности формирование кодовой псевдодальности не превышает 0,2 мм, мощность сигнала – до минус 20 дБВт без узла аттенюаторов (режим «высокой энергетики»).

В качестве цифрового осциллограф использовался Keysight MXR608A с максимальной частотой дискретизации 16 Гвыб/с. При частоте дискретизации 8 Гвыб/с (3.2 ГГц полоса, которая согласно теореме Котельникова достаточная для оценки навигационного сигнала в диапазоне L1 ГЛОНАСС) объем памяти позволяет осуществить запись сигнала длительностью 25 мс.

Метод оценки радионавигационных параметров (РНП) имитатора цифровым осциллографом приведен в литературе [1] и заключается в следующем: по сигналу метки времени цифровой осциллограф записывает в файлы оцифрованный

навигационный сигнал с ИНС. Дополнительно, с целью точной синхронизации шкалы времени программно реализованного измерителя РНП цифровой осциллограф выполняет запись опорного сигнала 10 МГц. Затем в специальном программном обеспечении (СПО) на ЭВМ происходит обработка записанных данных, а именно осуществляет перенос спектра сигнала в область низких частот, фильтрация и корреляционная обработка для оценки момента прихода навигационного сигнала (относительно сформированного в ИНС) который пересчитывается в псевдодальность. Оценка пседодальности производится по максимуму корреляционной функции. Этот метод был доработан в части уточнения оценки корреляционной функции [10] и обработки выборок на внешней ПЭВМ.

Измерения проводились по сигналу ГЛОНАСС на одной несущей частоте 1602 МГц с дальномерным кодом стандартной точности. В процессе эксперимента уменьшалась мощность формируемого ИНС сигнала и вертикальная развертка во втором канале осциллографа согласно таблицы 1. Значение горизонтальной развертки при экспериментах не менялось. Канал 3 осциллографа выступал образцовым, то есть в нем вертикальная развертка не изменялась.

Таблица 1. Режимы измерений

№ интервала измерений	Вертикальная развертка, мВ Канал 2	Канал 3	Мощность формируемого сигнала, дБВт
1	1000		
2	500		-21,94
3	200	200	
4	100		-27,91
5	50		-33,83
6	25		-39,85

На рисунке 3 и таблице 2 представлены результаты проведения эксперимента. Значения псевдодальности нормированы относительно первого измерения при вертикальной развертки 200 мВ на клетку в каналах 2 и 3.

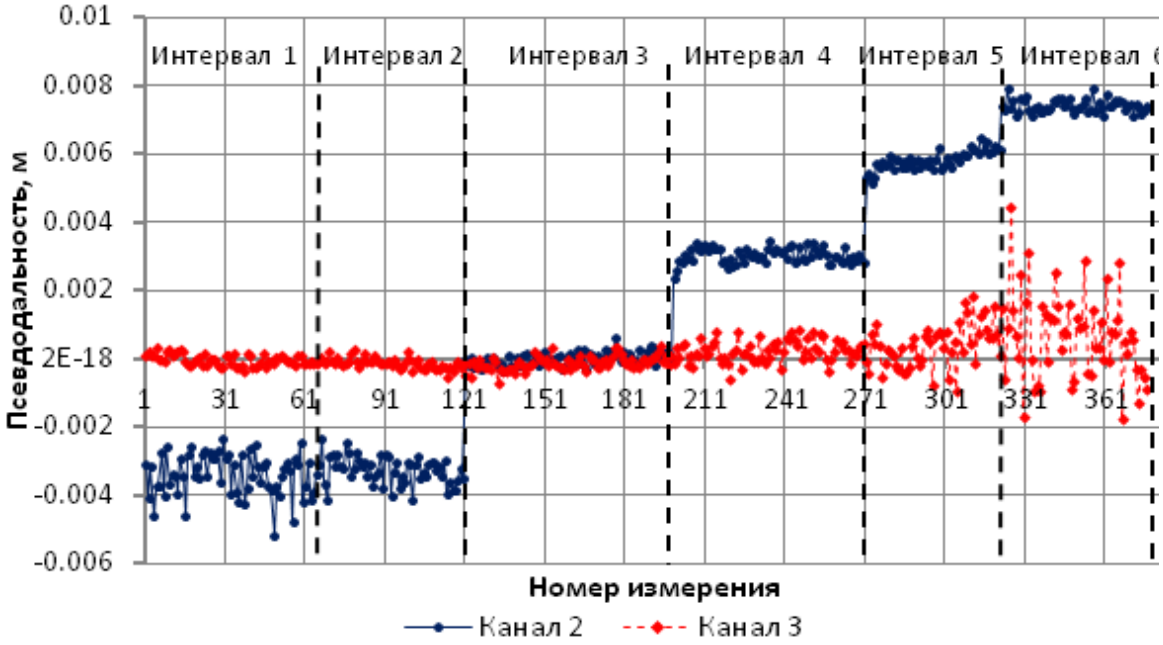

Рисунок 3. График изменения псевдодальности при изменении развертки

Максимальное отклонения измерения пседодальности при изменении усиления от 25мВ до 1000 мВ составило 0,011 м. При повторном эксперименте значение отклонения измеренной псевдодальности не превысило 4,7% относительно первого эксперимента. Следовательно, погрешность имеет систематическое происхождение и может быть учтена.

Таблица 2. Режимы измерений

№ интервала измерений	Математическое ожидание (МО) псевдодальности, м	
	Канал 2	**Канал 3**
1	-0,0034	0
2	-0,0033	-0,0001
3	0	0
4	0,003	0,0002
5	0,0058	0,0004
6	0,0075	0,0006

Математическое ожидание близкое к нулю в канале 3 демонстритует высокоточное управление мощностью в ИНС-21 для режима «высокой энергетики».

На рисунке 4 представлены значения среднеквадратического отклонения псевдодальности для всех интервалов. Результаты демонстрируют достаточность усиления в канале 3 на интервале 1-3 и в канале 2 на интервале 3-6. Повышенное значения СКО псевдодальности в канале 2 на интервале 1 и 2 обусловленно низким уровнем мощности сигнала для выбранных значений усиления, в канале 3 для интервалов 4-6 – низким уровнем мощности сигнала для выбранных значений усиления.

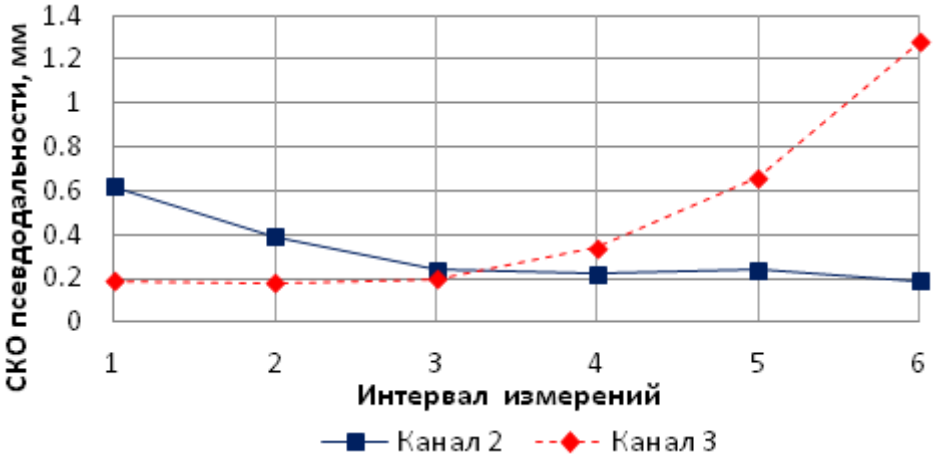

Рисунок 4. График изменения СКО псевдодальности при изменении развертки

По аналогии с Keysight MXR608A был проведен эксперимент на осциллографе Agilent DSO 9404 при схожих внешних условиях. Результаты показали, что изменение задержки при изменении вертикальной развертки от 50mV до 1000mV составило 0,035 м.

3. Заключение

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1) прецизионный имитатор навигационных сигналов позволяет оценить изменение задержки в каналах осциллографа при изменении вертикальной развертки (усиления в канале);

2) описан способ определения потенциальной точности оценки СКО формирования псевдодальности при различных значениях мощности формируемого навигационного сигнала ИНС;

3) при высокоточных измерениях цифровым осциллографом необходимо учитывать изменение ГВЗ в канале при различных значениях усиления в канале.

Список литературы

1. Савин А.А., Крат Н.М., Шарыгин Г.С. Контрольно-поверочная аппаратура системы автономной навигации космических аппаратов // Доклады ТУСУР. – 2014. – №1. – С. 28-32.
2. Печерица Д.С., Федотов В.Н. Калибровка имитаторов сигналов глобальных навигационных спутниковых систем // Измерительная техника. – 2018. – № 8. – С. 60-64.
3. Алешечкин А.М., Верещагин А.Н., Ермолаев М.В. Аппаратно-программный комплекс эталонного имитатора и анализатора навигационных сигналов // Современные проблемы радиоэлектроники. – 2011. – С. 129-134.
4. Дьяконов В. Калибраторы широкополосных осциллографов // Компьютеры и технологии. – 2013. – №11.
5. Официальный сайт Keysight. Описание осциллографа MSOV334A . – (https://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5992-0425EN.pdf?id=2572990).
6. R&S ® FSW-K17. Multi-Carrier Group Delay Measurement. User Manual. – (https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/pdm/cl_manuals/user_manual/1173_9405_01/FSW_K17_MC_Group_Delay_UserManual_en_26.pdf).
7. Group Delay measurements with Signal and Spectrum Analyzers. Application Note – (https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1ef98/1EF98_1e.pdf).
8. ГОСТ 8.964-2019. Осциллографы цифровые. Методика поверки.
9. Осциллографы. Основные принципы измерений. Учебное пособие – (https://download.tek.com/document/03U-8605-5 Scopes Manual.pdf).
10. Абдулхаков А.А., Валиханов М.М., Верещагин А.Н., Глушков А.П. Способы повышения точности определения псевдодальности навигационного сигнала цифровым осциллографом // Инфокомутационные технологии: актуальные вопросы экономики – 2021. – С. 176-180.