

10 факторов, которые необходимо учитывать при выборе дигитайзера/осциллографа

Общие сведения

Современный цифровой запоминающий осциллограф (ЦЗО) значительно отличается от электронно-лучевого осциллографа (ЭЛО), изобретенного немецким ученым Карлом Фердинандом Брауном в 1897 г. Успехи в развитии технологий продолжают наделять осциллограф новыми возможностями, за счет чего он становится все более полезным для инженеров. Однако одним из наиболее значимых изменений осциллографа стало его превращение в цифровой прибор, который предоставил пользователю такие мощные возможности как цифровая обработка сигналов (ЦОС) и анализ сигналов. В настоящее время в состав цифрового осциллографа входит высокоскоростной аналого-цифровой преобразователь (АЦП) невысокого разрешения (обычно 8 бит), элементы управления с определенными функциями и дисплей, а также встроены процессор для выполнения реализованных программно алгоритмов для измерений общего назначения.

Поскольку цифровые осциллографы могут взаимодействовать с компьютером (PC), у вас есть хорошая возможность определять функциональность этих измерительных приборов программными средствами. В результате вы можете использовать осциллограф не только для обычных, но и для специальных измерений, и даже в качестве анализатора спектра, частотомера, приемника ультразвукового и т.д. За счет открытой архитектуры и гибкого программного обеспечения (ПО), такие осциллографы имеют некоторые преимущества по сравнению с традиционными автономными осциллографами. Когда вы выбираете осциллограф, вам следует учитывать многие факторы, чтобы он подошел для вашего приложения.

В настоящей статье рассматриваются 10 факторов, которые необходимо учитывать, когда вы обдумываете возможность приобретения нового дигитайзера/осциллографа.

Содержание

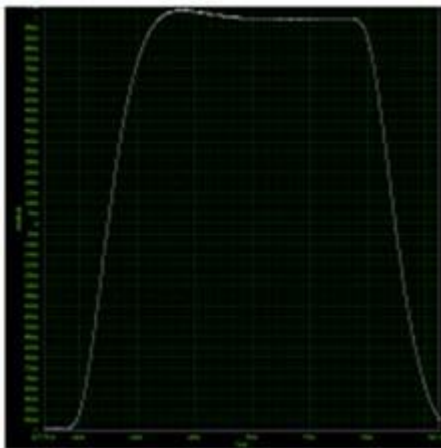
1. [Полоса пропускания](#)
2. [Частота дискретизации](#)
3. [Режимы дискретизации](#)
4. [Разрешение и динамический диапазон](#)
5. [Запуск](#)
6. [Встроенная память](#)
7. [Количество каналов](#)
8. [Синхронизация нескольких приборов](#)
9. [Возможность работы с сигналами разных типов](#)
10. [Возможность настройки, программирования и анализа](#)
11. [Советы на будущее](#)

1. Полоса пропускания

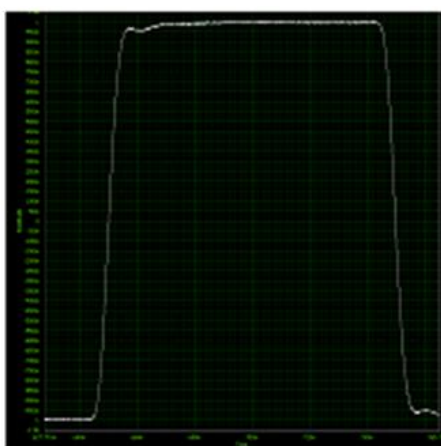
Полоса пропускания – это частотный диапазон входного сигнала, который может пропускать входной аналоговый блок от контакта пробника или тестового зажима на вход АЦП с минимальным ослаблением амплитуды. В качестве верхней границы полосы пропускания принята частота, на которой входной синусоидальный сигнал ослабляется до 70.7 процентов от исходной амплитуды, т.е. до уровня -3 дБ.

Обычно рекомендуется использовать дигитайзер с полосой пропускания, которая как минимум в два раза выше самой верхней гармоники вашего сигнала.

Осциллографы и дигитайзеры, как правило, применяются для измерения времени нарастания таких сигналов, как цифровые импульсы или другие сигналы с крутыми фронтами. Подобного рода сигналы состоят из высокочастотных составляющих. Для фиксации истинной формы сигнала вам требуется широкополосный дигитайзер. Например, прямоугольный сигнал типа меандр частотой 10 МГц состоит из основной гармоники 10 МГц и бесконечного количества высших гармоник. Чтобы наблюдать истинную форму такого сигнала, вам необходимо использовать дигитайзер с достаточно широкой полосой для захвата некоторого количества его гармоник. В противном случае сигнал покажется искаженным, и ваши измерения получатся неправильными.



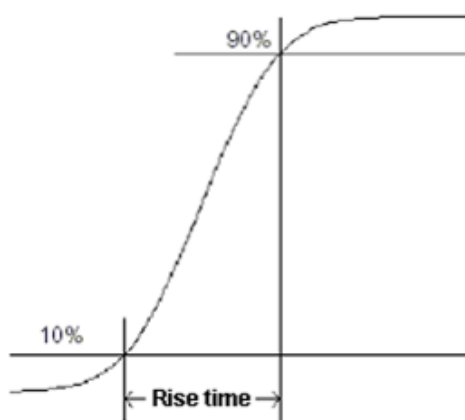
Меандр частотой 5 МГц, измеренный дигитайзером NI PXI-5152 при включенном фильтре подавления помех частотой выше 20 МГц



Меандр частотой 5 МГц, измеренный дигитайзером NI PXI-5152 с полосой пропускания 300 МГц

Рисунок 1: Без широкополосного дигитайзера нельзя обойтись при захвате сигнала с высокочастотными составляющими

На практике полосу пропускания следует вычислять по приведенной ниже формуле, исходя из времени нарастания. (Время нарастания – это время изменения уровня сигнала от 10 до 90 процентов.)



$$\text{Rise Time} = 0.35 / \text{Bandwidth}$$

Рисунок 2: Время нарастания – это время, в течение которого сигнал изменяется от 10 до 90 процентов от верхнего предела измерений. Время нарастания (Rise time) и полоса пропускания (Bandwidth) непосредственно связаны между собой. Один из этих параметров вычисляется через другой с помощью приведенного выше уравнения.

В идеале вам следует пользоваться осциллографом с полосой, которая в 3-5 раз выше, чем вычисленная с помощью приведенного выше уравнения. Другими словами, время нарастания вашего дигитайзера должно составлять от 1/5 до 1/3 времени нарастания вашего сигнала, чтобы сигнал измерялся с минимальной погрешностью. Вы всегда можете решить обратную задачу определения действительной полосы частот, занимаемой вашим сигналом, на основе следующей формулы, из которой выражают время нарастания:

$$T_m = \sqrt{T_s^2 + T_d^2}$$

T_m = измеренное время нарастания, T_s = действительное время нарастания,
 T_d = время нарастания дигитайзера

[В начало](#)

2. Частота дискретизации

В предыдущем разделе вы узнали, что такое полоса пропускания, которая является одной из важнейших технических характеристик дигитайзера или осциллографа. Однако от широкой полосы может оказаться мало толку, если частота дискретизации недостаточно высокая.

В то время как полоса пропускания соответствует наивысшей гармонике, которая может быть оцифрована с минимальным ослаблением, частота дискретизации – это всего лишь частота, с которой АЦП дигитайзера или осциллографа тактируется при оцифровке входного сигнала. Не забывайте, что частота дискретизации напрямую не связана с полосой пропускания. Однако на практике между этими двумя важными характеристиками предпочтительно использовать соотношение:

Digitizer's real-time sample rate = 3 to 4 times digitizer's bandwidth

(Частота дискретизации дигитайзера в реальном времени в 3-4 раза превышает полосу пропускания)

Как гласит теорема Найквиста, чтобы избежать искажения спектра (алиасинга), частота дискретизации дигитайзера должна быть как минимум в два раза выше наивысшей спектральной составляющей измеряемого сигнала. Однако частота дискретизации, точно в два раза превосходящая наивысшую гармонику измеряемого сигнала, недостаточна для точного восстановления сигналов во временной области. Для точной оцифровки входного сигнала реальная частота дискретизации должна быть как минимум в 3-4 раза выше полосы пропускания дигитайзера. Чтобы разобраться в этом, посмотрите на рисунок ниже и подумайте о том, какой из оцифрованных сигналов будет лучше выглядеть на вашем осциллографе.

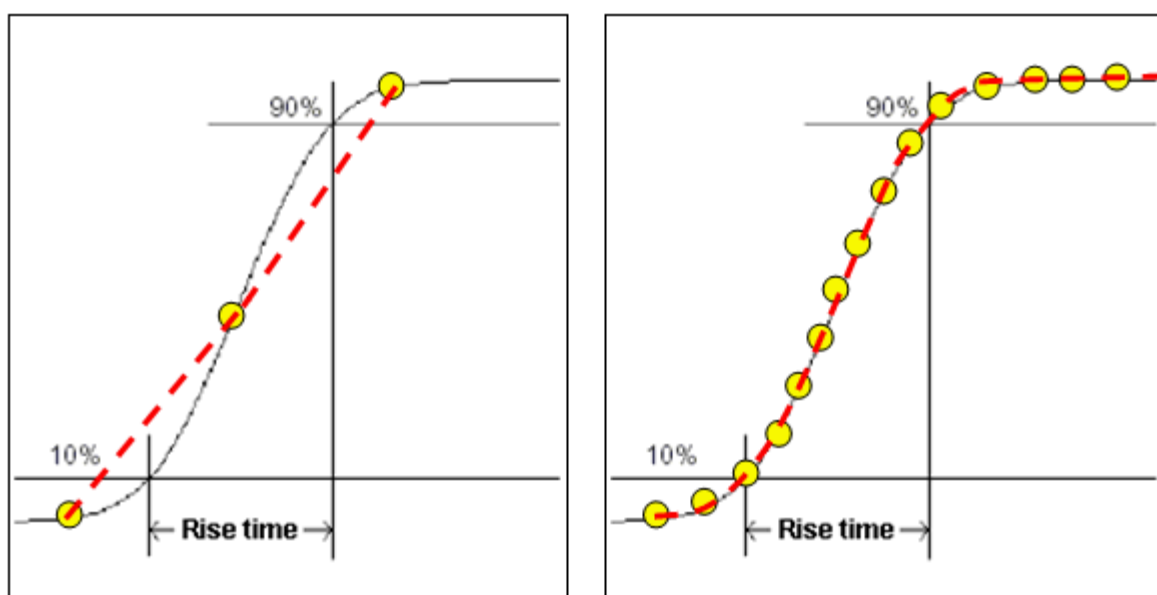


Рисунок 3: График справа соответствует дигитайзеру с достаточно высокой частотой дискретизации для точного восстановления сигнала, которая позволит выполнить более точные измерения

Несмотря на то, что реальный сигнал, прошедший через входные аналоговые цепи – один и тот же в обоих случаях, сигнал на графике слева имеет заниженную частоту дискретизации, что ведет к искажению оцифрованного сигнала. С другой стороны, сигнал на графике справа состоит из достаточного количества отсчетов для точного восстановления сигнала, которое даст возможность выполнять более точные измерения. Поскольку точное представление сигнала важно для таких приложений, как измерение времени нарастания, выброса или других измерений параметров импульсов во временной области, для них полезен дигитайзер с более высокой частотой дискретизации.

[В начало](#)

3. Режимы дискретизации

Существуют два основных режима дискретизации: дискретизация в реальном времени и дискретизация в эквивалентном времени (Equivalent-time sampling – ETS).

Рассмотренной выше частоте дискретизации в реальном времени соответствует тактовая частота АЦП. Частота дискретизации реального времени показывает, с какой максимальной скоростью входной сигнал может быть измеряться при однократном измерении. С другой стороны, дискретизация в эквивалентном времени является методом восстановления сигнала на основе последовательности измерений сигналов с запуском по условию, причем каждое измерение выполняется однократно. Преимуществом дискретизации в эквивалентном времени является более высокая «эффективная» частота дискретизации. Однако недостаток такой дискретизации заключается в том, что она требует больше времени и применима только для периодических сигналов. Обратите внимание на то, что дискретизация в эквивалентном времени не расширяет аналоговую полосу пропускания дигитайзера, и она полезна только тогда, когда вам требуется восстановить сигнал на более высокой частоте дискретизации. Наиболее распространенным вариантом реализации дискретизации в эквивалентном времени является произвольно перемежающаяся оцифровка (Random-interleaved sampling – RIS), которая доступна в большинстве дигитайзеров производства NI, приведенных ниже в таблице.

[В начало](#)

4. Разрешение и динамический диапазон

Как было описано выше, цифровые осциллографы и дигитайзеры имеют в своем составе АЦП, которые преобразуют сигналы из аналоговой формы в цифровую. Количество битов, возвращаемых АЦП, называют разрешением дигитайзера. Для любого заданного диапазона входного напряжения количество возможных дискретных уровней, которые служат для представления сигнала в цифровой форме, составляет 2^b , где b – разрешение дигитайзера. Диапазон входного напряжения (Input Range) делится на 2^b ступеней, и наименьшее напряжение, которое может обнаружить дигитайзер, определяется как отношение $\text{Input Range}/2^b$. Например, у 8-битового дигитайзера диапазон размаха входного напряжения 10 В разбивается на $2^8=256$ уровней по 39 мВ каждый, в то время как 24-битовый дигитайзер делит то же самое входное напряжение на $2^{24} = 16,777,216$ уровней по 596 нВ (примерно в 65000 раз меньше, чем в случае 8-битового устройства).

Одним из оснований для использования дигитайзера высокого разрешения является измерение малых сигналов. Иногда задают вопрос, почему нельзя просто применять прибор более низкого разрешения и с меньшим диапазоном измерений и измерять малые напряжения путем увеличения масштаба сигнала. Но следует учитывать, что многие сигналы включают в себя как низкоуровневую (малый сигнал), так и высокоуровневую составляющую (большой сигнал). При широком диапазоне измерений у вас, возможно, получится измерить большой сигнал, но в этом случае малый сигнал утонет в шумах от большого сигнала. С другой стороны, при нешироком диапазоне измерений большой сигнал у вас обрежется, и ваши измерения будут неправильными – в них будут присутствовать искажения. Поэтому для приложений, которые работают с динамически изменяющимися сигналами (включающими в себя низкоуровневую и высокоуровневую составляющие), вам потребуется измерительный прибор высокого разрешения, у которого широкий динамический диапазон (способность дигитайзера измерять малые сигналы при наличии больших сигналов).

Как правило, традиционные осциллографы включают в себя АЦП с 8-битовым разрешением, которого недостаточно для многих приложений, в том числе спектрального анализа или измерения динамических, например, модулированных сигналов. Большое количество приложений способно получать преимущества за счет высокой производительности осциллографа. Примером может послужить 10-битовый осциллограф NI PXIe-5162, получивший награду [2014 Test Product of the Year by Test and Measurement World](#).

[В начало](#)

5. Запуск

Обычно осциллографы и дигитайзеры применяются для измерения сигналов с учетом некоторого события. Функция запуска измерительного прибора позволяет вам локализовать это событие и захватить сигнал до или после события. Функциональные возможности большинства дигитайзеров и осциллографов включают в себя запуск по перепаду аналогового сигнала (analog edge triggering), цифровой запуск (digital triggering), а также программный запуск (software triggering). К остальным опциям запуска относятся запуск по параметрам окна (window triggering), запуск с гистерезисом (hysteresis triggering) и запуск по видеосигналу (video triggering).

Для высокопроизводительных дигитайзеров характерны возможности быстрого «переворужения» или подготовки к следующему запуску через короткие интервалы времени, за счет чего возможен режим многократного захвата, в котором дигитайзер захватывает определенное количество отсчетов до заданного момента запуска, быстро «переворужается» и ожидает следующего запуска. Быстрое время подготовки к следующему запуску гарантирует, что дигитайзер не пропустит событие или запуск. Режим многократного захвата очень полезен для захвата и сохранения только тех данных, которые вам нужны, благодаря чему оптимизируется использование встроенной памяти, а также ограничивается интенсивность работы шины компьютера.

[В начало](#)

6. Встроенная память

Часто бывает, что данные измерений передаются из дигитайзера или осциллографа в компьютер для последующего анализа. Несмотря на то, что эти приборы могут работать на максимальной частоте дискретизации, которая может находиться в диапазоне нескольких ГигаОтсчетов/с, скорость передачи, с которой данные могут быть переданы в компьютер, ограничена пропускной способностью шинных интерфейсов типа PCI, LAN, GPIB и т.д. Хотя в настоящее время ни одна из этих шин не способна работать на частотах в несколько ГГц, это может стать неактуальным для шин PCI Express и PXI express, характеристики которых приближаются к скоростям передачи данных порядка нескольких ГБ/с.

Если интерфейсная шина не может поддерживать непрерывную передачу данных на скорости, соответствующей частоте дискретизации измеряемого сигнала, встроенная память измерительного прибора обеспечивает возможность захвата сигналов на максимальной частоте дискретизации и затем передачи оцифрованных данных в компьютер для последующей обработки.

$$AcquisitionTimeWindow = \frac{OnboardAcquisitionMemory}{SamplingRate(S/s)}$$

где **AcquisitionTimeWindow** – время измерений, **OnboardAcquisitionMemory** – объем встроенной памяти (предельное количество отсчетов, которое может в ней храниться), **SamplingRate (S/s)** – частота дискретизации (Отсчетов/с).

Большая «глубина» памяти не только увеличивает время измерения, но она также дает некоторые преимущества в частотной области. Наиболее распространенным видом измерений в частотной области является быстрое преобразование Фурье (БПФ), которое показывает спектральный состав сигнала. Если БПФ обладает лучшим разрешением по частоте, то намного легче распознаются отдельные частотные составляющие.

$$FrequencyResolution(\Delta f) = \frac{SamplingRate(S/s)}{PointsInFFT}$$

где **FrequencyResolution(Δf)** – разрешение по частоте, **PointsInFFT** – количество точек в БПФ спектре

В приведенном выше уравнении видны два способа улучшения разрешения по частоте: уменьшить частоту дискретизации или увеличить количество точек БПФ. Нередко уменьшение частоты дискретизации нельзя назвать идеальным решением, поскольку оно также приведет к уменьшению вашего диапазона частот. В этом случае единственное решение – снимать больше отсчетов для БПФ, что потребует большего объема встроенной памяти.

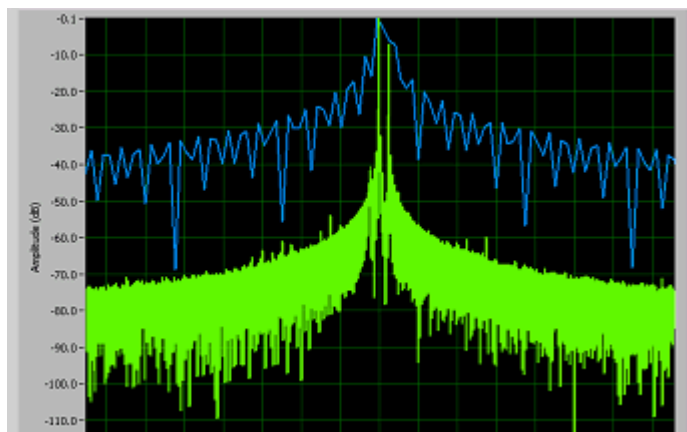


Рисунок 4: Большой объем встроенной памяти позволяет выполнять измерения на более высокой частоте дискретизации в течение более длительного периода времени, чтобы захватить большее количество отсчетов. Использование большого количества точек при вычислении БПФ приводит к более высокому разрешению по частоте.

В начало

7. Количество каналов

При принятии решения о приобретении осциллографа или дигитайзера важным фактором является количество каналов у прибора или возможность добавлять каналы путем синхронизации нескольких приборов. Большинство осциллографов имеют два или четыре канала с одновременной дискретизацией на определенной частоте. Важно уделить пристальное внимание тому, как на частоту дискретизации влияет использование всех каналов дигитайзера, поскольку обычно применяется технология, называемая дискретизацией с временным разделением каналов, в рамках которой несколько каналов чередуются во времени, за счет чего общая частота дискретизации увеличивается. Если в дигитайзере или осциллографе используется данный метод, и у вас задействованы все каналы, то вы не сможете выполнять измерения по каждому каналу на максимальной частоте дискретизации.

Требуемое количество каналов полностью зависит от особенностей вашего конкретного приложения. Нередко имеющихся у традиционных приборов двух или четырех каналов бывает недостаточно. Из этой ситуации есть два выхода. Один из них заключается в применении устройства с большим количеством каналов, например, дигитайзера NI PXI-5105, 8 параллельных каналов, 12 бит, 60 000 000 выборок/с, 60 МГц. Если вы не можете найти прибор, который соответствует вашим требованиям по разрешению, быстродействию и полосе пропускания, то вам следует присмотреться к платформе, которая позволит масштабировать вашу измерительную систему за счет жесткой синхронизации и допускает использование общих сигналов запуска и синхронизации. В связи с тем, что практически невозможно синхронизировать несколько автономных осциллографов через GPIB или LAN из-за больших задержек, ограниченной производительности и необходимости внешних кабелей, превосходное решение обеспечивает интерфейс PXI. PXI – это промышленный стандарт, где к существующим высокоскоростным шинам типа PCI и PCI Express добавляется технология синхронизации мирового класса.

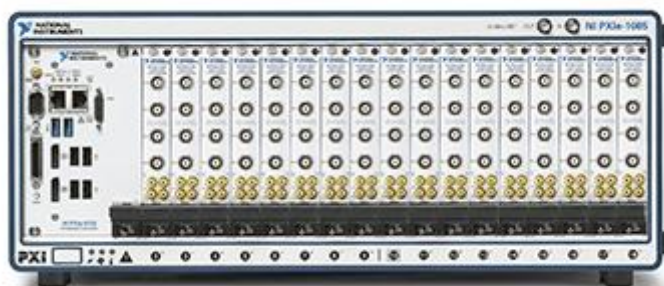
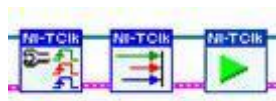


Рисунок 5: С помощью технологии синхронизации вы можете создавать дигитайзеры с большим количеством каналов. На этом рисунке показана система, которая предоставляет до 68 каналов. Несколько шасси могут быть синхронизированы для получения еще большего количества каналов.

Синхронизация нескольких устройств – это ключевое требование многих приложений, которое нередко может увеличить время разработки программного обеспечения. Однако дигитайзеры производства NI, построенные по архитектуре [Synchronization and Memory Core \(SMC\)](#) (архитектура ядра памяти и синхронизации) могут

опираться на технологию [NI-TClk](#) для достижения точной синхронизации при минимальных усилиях разработчика. Технология NI-TClk предоставляет высокоуровневый интерфейс для программирования синхронизации нескольких NI-дигитайзеров, генераторов сигналов произвольной формы и устройств высокоскоростного ввода-вывода. Более того, имеется множество готовых примеров того, как реализовать такую синхронизацию, которые побуждают к действию и очень облегчают работу. Ниже показаны всего лишь три функции (niTClk Configure for Homogeneous Triggers, niTClk Synchronize, niTClk Initiate), которые требуются в среде LabVIEW для программной реализации единой синхронизации нескольких PXI дигитайзеров.



[В начало](#)

8. Синхронизация нескольких приборов

Почти все автоматизированные испытательные стенды и многие настольные измерительные приложения включают в себя измерительные приборы различных типов, в том числе дигитайзеры, генераторы сигналов, анализаторы цифровых сигналов, генераторы цифровых сигналов и коммутаторы.

Обязательные для интерфейса PXI и модульных приборов производства NI средства тактирования и синхронизации позволяют вам синхронизировать измерительные приборы всех упомянутых типов, обходясь при этом без внешних кабелей. Пусть, например, вы объединяете дигитайзер типа [NI PXI-5122](#) и генератор сигналов произвольной формы типа [NI PXI-5421](#) для перестройки частоты, которая требуется для снятия амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик испытуемого устройства. Перестройка частоты может быть полностью автоматизирована, за счет чего отпадает необходимость ручной настройки параметров осциллографа и генератора с последующей обработкой в режиме «оффлайн». Модульный принцип построения PXI системы дает увеличение быстродействия на несколько порядков и способствует повышению эффективности вашей работы, позволяя вам сосредоточиться на самих результатах измерений, а не трудоемких операциях по достижению этих результатов.

[В начало](#)

9. Возможность работы с сигналами разных типов

Та же самая технология T-Clk, которая позволяет создавать системы, имеющие до 136 синхронизированных каналов в одном PXI шасси или до 5000 каналов при использовании нескольких шасси (см. описание в предыдущем разделе), дает также возможность синхронизации измерительных приборов разных типов. Например, с помощью данной технологии NI-дигитайзер может быть синхронизирован с генераторами аналоговых сигналов, генераторами цифровых сигналов, а также анализаторами цифровых сигналов при построении систем, работающих с разнотипными сигналами, называемых системами смешанных сигналов.

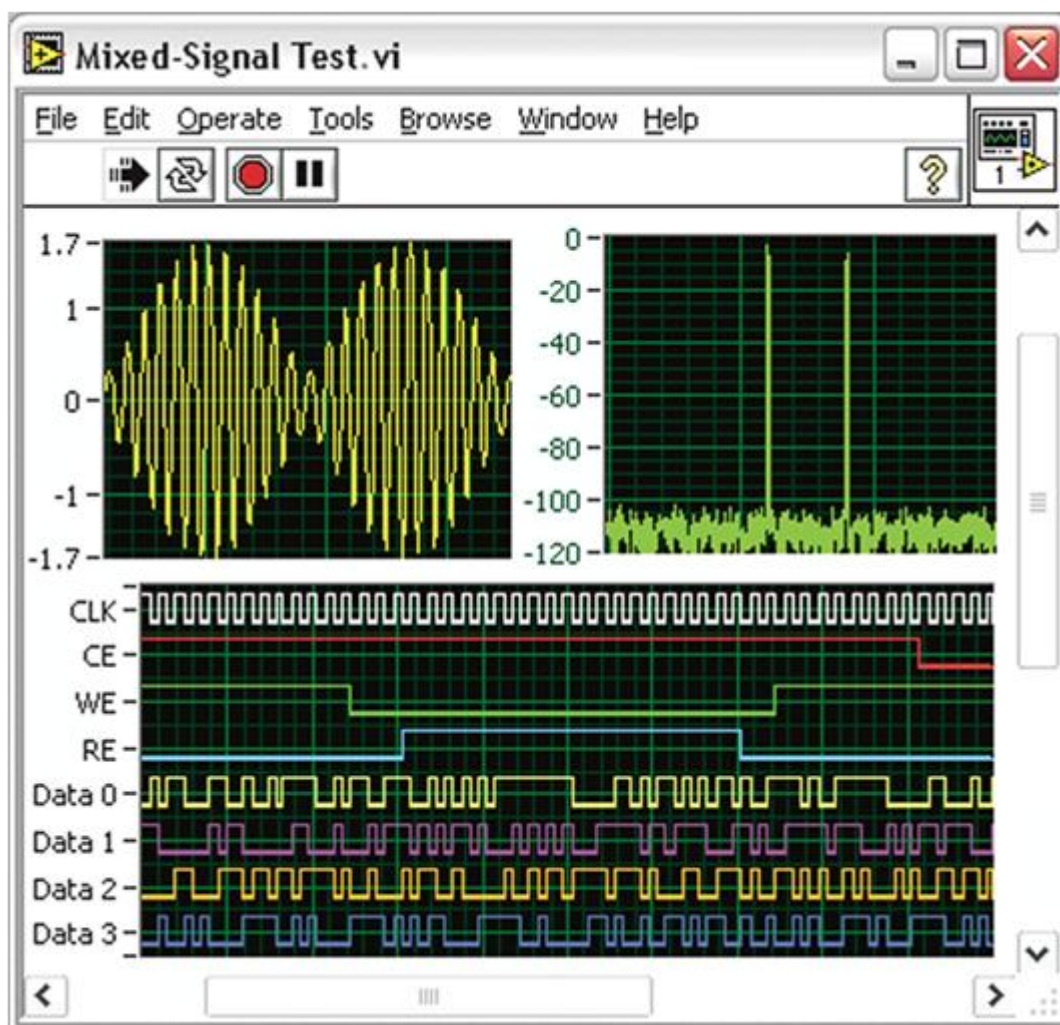


Рисунок 6: Этот VI демонстрирует приложение, сконфигурированное для работы в режиме осциллографа смешанных сигналов (имеющего аналоговые и цифровые входы). Кроме того, к этому приложению могут быть добавлены функции цифрового или аналогового вывода, но и в этом случае все приборы могут быть синхронизированы

Для построения полноценного измерительного приложения для работы с сигналами разных типов, которое обладает достоинствами, как осциллографа, так и логического анализатора, предпочтительно использовать модульный PXI дигитайзер совместно с генераторами сигналов произвольной формы и цифровыми генераторами/анализаторами вместо осциллографа смешанных сигналов, у которого ограничена функциональность работы с цифровыми сигналами.

[В начало](#)

10. Возможности настройки, программирования и анализа

При выборе для своего приложения модульного дигитайзера или автономного осциллографа очень важно определение возможностей программирования и анализа. Учет данного фактора поможет вам сделать выбор между этими двумя приборами.

Функциональность автономных осциллографов определяется производителями, в то время как функциональность дигитайзеров задается пользователями, что позволяет им гибко решать измерительные задачи. Автономный осциллограф способен выполнять множество стандартных функций, которые удовлетворяют требованиям многих инженеров. Как вы можете себе представить, эти стандартные функции не в состоянии решить любую задачу измерений, особенно при автоматизации испытаний. Если вам требуется самому определять измерительные функции, которые должен выполнять осциллограф, то вам видимо следует выбрать модульный дигитайзер, который поддерживает преимущества компьютерной архитектуры, за счет чего вы можете адаптировать приложение к своим требованиям, не стесняя себя фиксированной функциональностью автономного осциллографа.

Все NI-дигитайзеры программируются с помощью программного драйвера NI-SCOPE. Этот драйвер поставляется более чем с 50 готовыми примерами программ, которые раскрывают полную функциональность любого дигитайзера производства NI, причем входящая в состав ПО утилита NI-SCOPE Soft Front Panel предоставляет знакомый вам интерфейс осциллографа. Одни и те же аппаратные средства можно запрограммировать как для стандартных, так и пользовательских измерений, применительно к широкому кругу приложений, с помощью различных языков программирования, включая LabVIEW, LabWindows/CVI, Visual Basic, .NET. Драйвер поддерживает также конфигурируемые Express-функции LabVIEW.

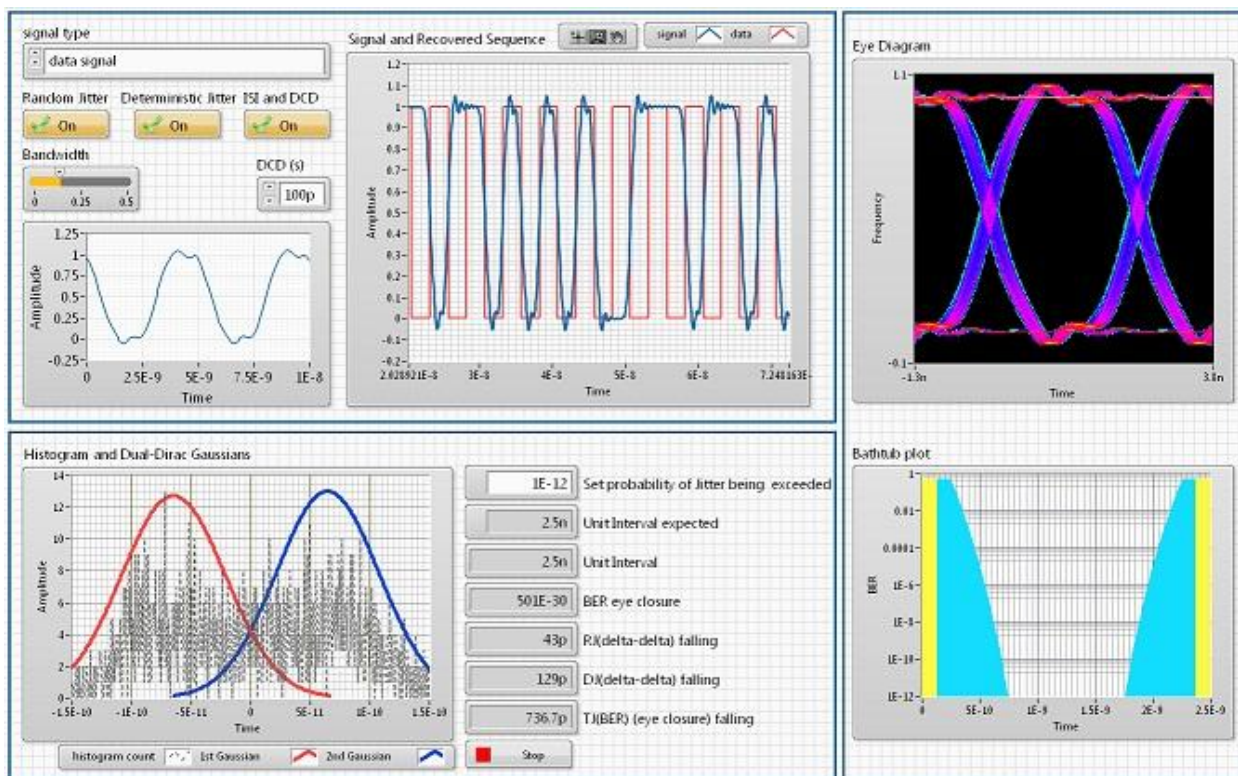


Рисунок 7: Вы можете объединить два осциллографа производства NI с помощью библиотеки LabVIEW Jitter Analysis Toolkit для выполнения в LabVIEW измерений по анализу целостности сигналов

[В начало](#)

11. Советы на будущее

Несмотря на то, что для измерения напряжений применяются и модульные дигитайзеры, и автономные осциллографы, эти измерительные приборы обладают разными достоинствами. Однако, рассмотренные выше факторы имеют большое значение при приобретении любого прибора. Предварительное обдумывание требований к приложению и ограничений по стоимости, производительности и возможности последующего масштабирования поможет вам выбрать измерительный прибор, который наилучшим образом удовлетворит ваши потребности.

[В начало](#)