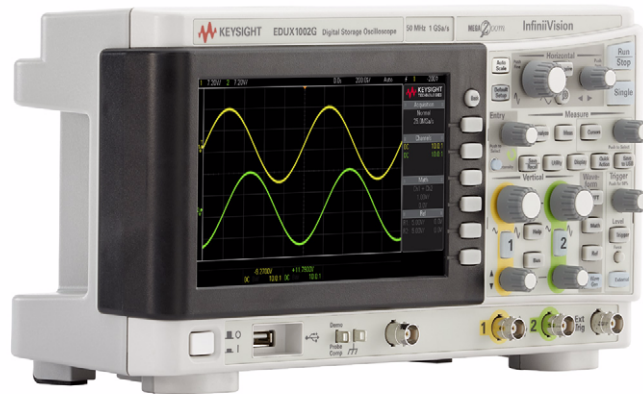


Educator's Training Kit for 1000 X-Series Oscilloscopes



Lab Guide and
Tutorial для
студентов
электротехничес
ких и
физических
факультетов

Уведомления

© Keysight Technologies, Inc., 2008-2017

В соответствии с действующим в США и международным законодательством по охране авторских прав никакая часть этого документа не может быть воспроизведена в любой форме и любыми средствами (в том числе электронными средствами накопления и обработки информации), а также переведена на другой язык без предварительного письменного разрешения Keysight Technologies, Inc.

Номер руководства

54611-97009

Редакция

March 1, 2017

Available in electronic format only

Опубликовано:
Keysight Technologies, Inc.
1900 Garden of the Gods Road
Colorado Springs, CO 80907 USA

Гарантия

Материалы данного документа предоставлены на условии “как есть” и в последующих редакциях могут быть изменены без предварительного уведомления. Более того, в максимально разрешенной соответствующим законом степени компания Keysight отказывается от каких-либо явных или подразумеваемых гарантий в отношении данного руководства и содержащихся в нем сведений, включая, но не ограничиваясь подразумеваемыми гарантиями коммерческой выгоды и пригодности для конкретного использования. Keysight не несет ответственности за ошибки или случайные либо являющиеся следствием повреждения в связи с поставкой и использованием настоящего документа или следованием его инструкциям либо любой информации, содержащейся в нем. Если между компанией Keysight и пользователем заключено отдельное письменное соглашение,

гарантийные условия которого распространяются на материалы данного документа и противоречат настоящим условиям, приоритет имеют положения отдельного соглашения.

Лицензии на использование технологий

Аппаратное и (или) программное обеспечение, описанное в настоящем документе, предоставляется по лицензии и может быть использовано или скопировано только в соответствии с условиями таковой.

Права правительства США

Согласно положению статьи 2.101 Правил закупок для федеральных нужд ("FAR") ПО определяется как "коммерческое программное обеспечение". Согласно положениям статей FAR 12.212, 27.405-3 и статьи 227.7202 Правил закупок для нужд обороны – дополнение ("DFARS"), Правительство США приобретает коммерческое программное обеспечение на обычных условиях предоставления программного обеспечения для лиц. В соответствии с этим компания Keysight предоставляет ПО государственным заказчикам США на условиях стандартной коммерческой лицензии, являющейся частью лицензионного соглашения с конечным пользователем (EULA), копию которого можно найти на веб-сайте по адресу www.keysight.com/find/sweula. В лицензии, содержащейся в соглашении с конечным пользователем EULA, заявляется об исключительных полномочиях, предоставляемых Правительству США на использование, изменение, распространение или раскрытие ПО. Условиями соглашения с конечным пользователем EULA и положениями лицензии не предусматриваются и не допускаются, в частности, следующие действия со стороны компании Keysight: (1) предоставление технической информации о коммерческом программном

обеспечении или документации, относящейся к коммерческому программному обеспечению, которая не подлежит предоставлению для лиц на обычных условиях; (2) отказ или, напротив, наделение правами, превышающими права, предоставляемые на обычных условиях лицам для использования, изменения, воспроизведения, передачи, совершения действий, демонстрации и раскрытия коммерческого программного обеспечения или документации, относящейся к нему. Не применяется никаких требований государственных органов, кроме тех, которые сформулированы в настоящем лицензионном соглашении с конечным пользователем (EULA), за исключением тех положений, прав или лицензий, которые явным образом требуются от всех поставщиков коммерческого программного обеспечения в соответствии с правилами закупок для федеральных нужд (FAR) и правилами закупок для нужд обороны – дополнение (DFARS) и которые явно изложены в письменном виде в других разделах соглашения EULA. Компания Keysight не несет никаких обязательств за обновление, переработку или любое другое изменение ПО. Согласно положениям статей FAR 2.101, 12.211, 27.404.2 и DFARS 227.7102 о технических данных Правительство США имеет ограниченные права на их использование, как определено в положениях статьи FAR 27.401 и DFAR 227.7103-5 (c).

Уведомления по
безопасности

CAUTION

Надпись **ОСТОРОЖНО** предупреждает об опасности. Ею обозначаются процедуры или приемы работы, неправильное выполнение либо несоблюдение которых может привести к повреждению прибора или потере важных данных. Выполнение действий, о которых идет речь в предупреждении **ОСТОРОЖНО**, допустимо только при полном понимании и соблюдении всех указанных требований.

WARNING

Надпись "**ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ**" сообщает об опасности. Ею обозначаются процедуры или приемы работы, неправильное выполнение либо несоблюдение которых может привести к серьезным травмам или представлять угрозу для жизни. Выполнение действий, о которых идет речь в примечании "**ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ**", допустимо только при полном понимании и соблюдении всех указанных требований.

Лабораторное руководство и учебное пособие — краткий обзор

Данное лабораторное руководство по осциллографам и учебное пособие для студентов электротехнических и физических факультетов предназначено для использования с осциллографами Keysight Technologies InfiniiVision серии 1000 X.

Примечание для преподавателя электротехнического и физического факультетов

Уважаемый преподаватель электротехнического и физического факультетов и/или лаборант!

Настоящее лабораторное руководство по осциллографам и учебное пособие для студентов электротехнических и физических факультетов состоит из 14 отдельных практических лабораторных работ, в ходе выполнения которых студенты ознакомятся с осциллографом и способом его использования. Осциллограф представляет собой универсальный измерительный прибор, наиболее часто используемый студентами по сравнению с любыми другими инструментами, для проверки цепей и проведения запланированных экспериментов, а также для проверки более серьезных опытно-конструкторских работ. Выпускники университетов и будущие специалисты в области современной электроники будут также активно использовать осциллографы во время работы. Поэтому крайне важно предоставить им опыт работы с этим незаменимым инструментом.

На выполнение каждой из 14 лабораторных работ потребуется порядка 15-20 минут. Эти лабораторные работы предназначены для выполнения на осциллографах Keysight InfiniiVision серии 1000 X, использующих широкий диапазон встроенных обучающих сигналов, созданных специально для электротехнических и физических факультетов. Некоторые обучающие сигналы крайне простые, например синусоидальные волны, другие — достаточно сложно воспроизвести с помощью аналоговых и цифровых сигналов в реальных условиях. Помимо осциллографа, двух пассивных пробников (входят в стандартную комплектацию осциллографа) и одного кабеля BNC не требуется никакого испытательного оборудования. Обе модели EDUX и DSOX осциллографов серии 1000 X можно использовать для большинства из этих лабораторных работ, но лабораторную работу № 14 можно выполнить, только используя модель DSOX. Также в лабораторной работе № 6 используется встроенный генератор функций, который доступен только в моделях “G”.

Прежде чем студенты впервые приступят к проведению любых запланированных экспериментов в лаборатории по изучению цепей, компания Keysight рекомендует в качестве предварительной подготовки (домашней работы) ознакомиться с главой 1, а также приложениями А и В настоящего документа. В главе 1 содержатся обзор осциллографа и основы по выполнению измерений. В приложениях А и В представлены краткие учебные пособия с описанием принципа работы осциллографа и полосы пропускания.

На первом занятии в лаборатории студенты должны выполнить первые 6 практических лабораторных работ из главы 2 настоящего документа (Лабораторные работы по основным измерениям, выполняемым с помощью осциллографа и модуля WaveGen). В ходе лабораторных работ 1-3 студенты получают необходимые знания для настройки масштабирования осциллографа (В/дел и с/дел) при использовании запуска по фронту, чтобы они могли выполнять базовые измерения с помощью осциллографа во время первых запланированных экспериментов, проводимых в лаборатории. В лабораторной работе № 4 рассматривается сохранение результатов измерений, что позволяет регистрировать полученные результаты в отчетах по лабораторным работам, которые могут потребоваться. В ходе лабораторной работы № 5 студенты научатся настраивать компенсацию пробника. Лабораторная работа № 6 посвящена использованию дополнительного встроенного генератора функций WaveGen. Для выполнения этой конкретной лабораторной работы требуется примерно 5 минут, но необходимо использовать модель "G" осциллографов серии 1000 X.

В главе 3 настоящего документа содержатся необязательные к выполнению практические лабораторные работы по дополнительным измерениям с помощью осциллографа. Студенты могут выполнить некоторые или все из этих работ, если они заинтересованы в изучении дополнительных возможностей измерения с помощью осциллографа. Кроме того, по своему усмотрению преподаватели могут назначить некоторые лабораторные работы, которые считают важными. Обратите внимание на удобство использования настоящего лабораторного руководства.

С уважением,



Джонни Хэнкок (Johnnie Hancock)

Руководитель отдела образовательных программ по использованию осциллографов
Keysight Technologies

Содержание

Лабораторное руководство и учебное пособие — краткий обзор / 4

Примечание для преподавателя электротехнического и физического факультетов / 4

1 Начало работы

Измерение с помощью осциллографа / 11

Обзор лицевой панели / 14

2 Лабораторные работы по основным измерениям с помощью осциллографа и WaveGen

Лабораторная работа № 1. Проведение измерений синусоидальных волн / 18

Лабораторная работа № 2. Изучение основ синхронизации осциллографа / 25

Лабораторная работа № 3. Включение при сигналах с высоким уровнем шума / 30

Лабораторная работа № 4. Регистрация и сохранение результатов тестов осциллографа / 35

Лабораторная работа № 5. Компенсация пассивных пробников 10:1 / 40

Определение правильного значения компенсации емкости / 42

Нагрузка пробников / 43

Лабораторная работа № 6. Использование встроенного генератора функций WaveGen / 45

3 Лабораторные работы по дополнительным измерениям с помощью осциллографа

Лабораторная работа № 7. Запуск цифровой серии с помощью задержки запуска / 48

Лабораторная работа № 8. Синхронизация с редким событием, его регистрация и анализ / 52

Лабораторная работа № 9. Регистрация одиночного события / 56

Лабораторная работа № 10. Выполнение автоматических параметрических измерений цифровых сигналов / 59

Лабораторная работа № 11. Использование временной развертки осциллографа с масштабированием для выполнения стробированных измерений / 65

Лабораторная работа № 12. Использование осциллографа для анализа БПФ / 69

Лабораторная работа № 13. Определение пиков для устранения неполной выборки / 71

Лабораторная работа № 14. Использование сегментированной памяти для регистрации большого количества сигналов / 74

4 Резюме

Список литературы Keysight / 80

А Блок-схема и принцип работы осциллографа

Блок-схема DSO / 82

Блок АЦП / 82

Блок аттенюатора / 83

Блок смещения постоянной составляющей / 83

Блок усилителя / 83

Блоки компаратора запуска и логического запуска / 84

Блоки временной развертки и памяти / 85

Блок DSP дисплея / 86

В Учебное пособие по определению полосы пропускания осциллографа

Определение полосы пропускания осциллографа / 88

Требуемая полоса пропускания для аналоговых сигналов / 90

Требуемая полоса пропускания для цифровых приборов / 91

Практическое правило / 91

Шаг 1. Определение самых быстрых реальных скоростей фронтов / 91

Шаг 2. Расчет $f_{изл}$ / 91

Шаг 3. Расчет полосы пропускания осциллографа / 92

Пример / 92

Сравнение измерений цифровых тактовых сигналов / 94

Предметный указатель

1 Начало работы

Измерение с помощью осциллографа / 11

Обзор лицевой панели / 14

Осциллограф представляет собой важный инструмент для измерения напряжения и времени в современных аналоговых и цифровых электрических цепях. После окончания электротехнического ВУЗа и начала работы в электронной промышленности, вероятно, вы обнаружите, что осциллограф — это измерительный прибор, который используется чаще остальных для тестирования, проверки и отладки схем. Уже во время обучения на электротехническом или физическом вузе какого-либо университета вы будете очень часто использовать осциллограф для проведения измерений в лабораториях по изучению цепей, а также для тестирования и проверки лабораторных работ и схем. К сожалению, многие студенты так до конца и не понимают, как пользоваться осциллографом. Часто они просто в случайном порядке крутят ручки и нажимают кнопки пока на дисплее осциллографа “чудесным образом” не появится изображение, примерно соответствующее желаемому. Однако после выполнения данного ряда небольших лабораторных работ вы будете лучше разбираться в устройстве осциллографа и научитесь более эффективно им пользоваться.

Итак, что такое осциллограф? Осциллограф — электронный измерительный прибор, который позволяет контролировать входящие сигналы и отображает их в виде графика в координатах напряжения и времени. Те осциллографы, которыми в процессе обучения пользовались ваши преподаватели, наверняка были аналоговыми. У таких осциллографов старых моделей полоса пропускания (рассматривается в приложении В) была ограничена, они не могли проводить измерения автоматически и им требовался повторяющийся входной сигнал (т. е. циклический).

В этом ряде лабораторных работ и, вероятно, в процессе всего обучения в университете, вы будете пользоваться цифровым осциллографом с функцией памяти, иногда называемым просто DSO. Современные осциллографы DSO могут регистрировать и отображать повторяющиеся и одиночные сигналы. У них есть набор возможностей для автоматических измерений и анализа, с помощью которых вы составите характеристику схем и выполните студенческие эксперименты быстрее и точнее, чем ваш преподаватель во время своего обучения.

1 Начало работы

Для получения дополнительных сведений по основным принципам работы осциллографов загрузите приложение Keysight с названием *Изучение основных принципов работы осциллографа*. Эта публикация и инструкции по загрузке приведены в разделе **Список литературы Keysight** этого руководства. Принципы работы осциллографа см. в приложении А этого руководства.

Чтобы быстро научиться пользоваться осциллографом и ознакомиться с его возможностями, необходимо сначала изучить самые важные элементы управления и провести с их помощью измерения основных сигналов, например, синусоидальных волн. Осциллографы Keysight Technologies InfiniiVision серии 1000 X, показанные на **Рис. 1**, могут генерировать набор разных аналоговых и цифровых обучающих сигналов. Многие из этих сигналов будут использоваться в этих небольших лабораторных работах по ознакомлению с прибором, который предназначен для измерения самых важных электронных сигналов, — осциллографом.

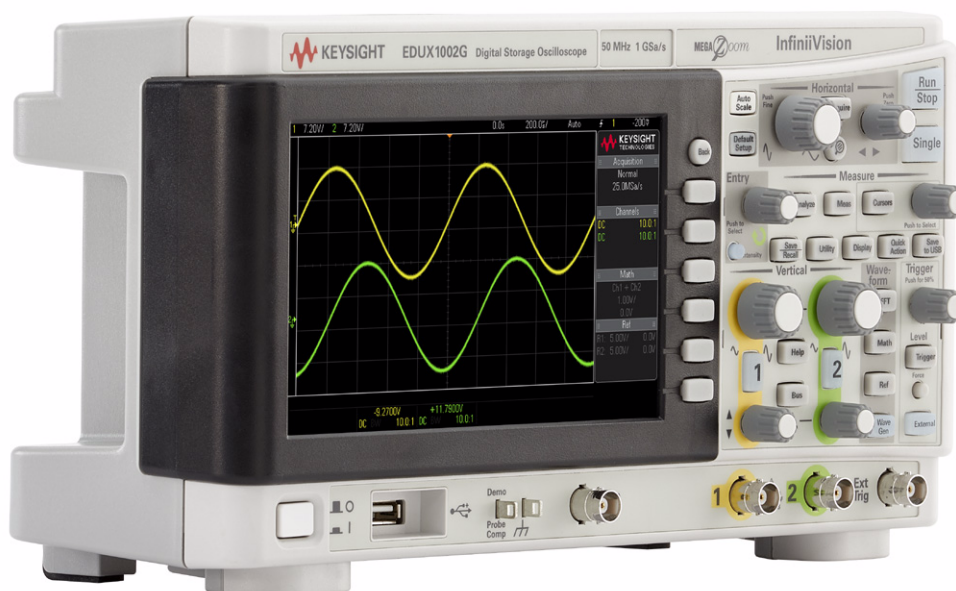


Рис. 1 Осциллограф Keysight InfiniiVision серии 1000 X

Измерение с помощью осциллографа

При проведении измерений с помощью осциллографа сначала необходимо подключить пробники осциллографа к тестируемому прибору и входам BNC осциллографа. Пробники осциллографа имеют относительно высокое входное сопротивление прерывания (высокое сопротивление при малой емкости), равную входному сопротивлению в контрольной точке. Подключение с высоким сопротивлением необходимо для изоляции измерительного прибора от тестируемой цепи, чтобы осциллограф и его пробник не оказывали влияния на тестируемые сигналы.

Для разных типов измерений используются разные виды пробников осциллографа. Сейчас выберем наиболее широко используемые, которые называются пассивными пробниками 10:1 напряжения (см. **Рис. 2**). “Пассивный” означает отсутствие в пробнике данного типа активных элементов, например транзисторов или усилителей. “10:1” означает, что пробник ослабляет входной сигнал на входе осциллографа в 10 раз. Большинство пассивных пробников имеют переключение 1:1/10:1, поэтому можно с легкостью отрегулировать затухание.



Рис. 2 Пассивные пробники напряжения N2140A и N2142A с переключаемым затуханием 10:1/1:1

При использовании стандартного пассивного пробника 10:1 все измерения с помощью осциллографа следует проводить между контрольной точкой сигнала и заземлением. Иными словами, *обязательно* выполняйте заземление зажима заземления пробника. *Невозможно* измерить напряжения на компоненте промежуточных цепей, используя пробник этого типа. При необходимости измерить напряжение на незаземленном компоненте используйте

математическую функцию вычитания осциллографа, чтобы измерить сигналы на концах компонента относительно заземления с помощью двух каналов осциллографа, либо воспользуйтесь специальным дифференциальным активным пробником. Обратите внимание, что недопустимо замыкать цепь с помощью осциллографа.

На **Рис. 3** представлена электрическая схема пассивного пробника 10:1, подключенного к осциллографу при входном сопротивлении $1\text{ M}\Omega$ по умолчанию, которое необходимо при использовании пробника такого типа. Обратите внимание, что на многих осциллографах с увеличенной полосой пропускания пользователь может выбрать входное оконечное сопротивление 50Ω , которое часто используется в качестве оконечного сопротивления активного пробника и/или при поступлении сигнала от источника с сопротивлением 50Ω по коаксиальному кабелю BNC с сопротивлением 50Ω .

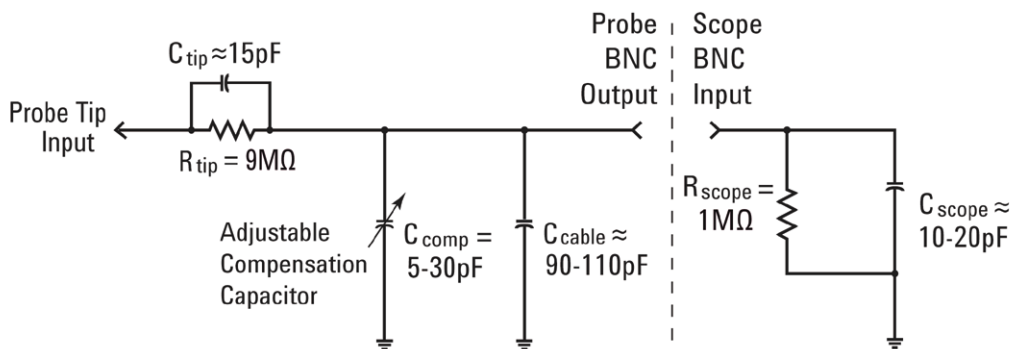


Рис. 3 Упрощенная схема с пассивным пробником 10:1, подключенным к осциллографу с входным сопротивлением $1\text{ M}\Omega$

Несмотря на то, что электрическая модель с пассивными пробником и осциллографом включает в себя и внутреннюю/паразитную емкость (не предусмотренную конструкцией) и заложенные в конструкцию сети компенсационные емкости, мы не будем сейчас их учитывать, а рассмотрим идеальный сигнал в этой системе пробник/осциллограф при низких частотах или в условиях входящего постоянного тока.

Если исключить все емкостные компоненты из электрической модели пробника/осциллографа, то остается только резистор наконечника пробника на $9\text{ M}\Omega$, подключенный последовательно с входным импедансом осциллографа $1\text{ M}\Omega$. Следовательно, входное сопротивление сети на наконечнике пробника составляет $10\text{ M}\Omega$. Согласно закону Ома, напряжение на входе осциллографа составляет $1/10$ от напряжения на наконечнике пробника ($V_{\text{осциллографа}} = V_{\text{пробника}} \times (1\text{ M}\Omega/10\text{ M}\Omega)$).

Это означает, что пассивный пробник 10:1 обеспечивает расширенный динамический диапазон системы измерений осциллографа. Т. е. можно измерить сигналы с амплитудой в 10 раз больше по сравнению с сигналами, которые можно измерить с помощью пробника 1:1. Кроме того, входной импеданс системы

измерения осциллографа (пробник + осциллограф) увеличен с $1\text{ M}\Omega$ до $10\text{ M}\Omega$. Это положительное решение, поскольку при сниженном входном импедансе тестируемый прибор может быть перегружен и возможно изменение фактического уровня напряжения в тестируемом приборе, что отрицательно влияет на результат. И несмотря на то, что собственное входное сопротивление $10\text{ M}\Omega$ является достаточно большим, помните, что его необходимо сравнивать с сопротивлением измеряемого устройства. Например, простая цепь операционного усилителя с резистором цепи обратной связи $100\text{ M}\Omega$ может привести к неправильным показаниям на осциллографе.

При использовании осциллографа Keysight серии 1000 X необходимо вручную ввести коэффициент затухания пробника (10:1). После того как в осциллографе задан коэффициент затухания, на осциллографе отображаются значения всех напряжений с компенсацией относительно реального входного сигнала на наконечнике пробника. Например, если измеряемый сигнал имеет напряжение двух амплитуд 10 V , то на вход осциллографа поступает сигнал только 1 V . Однако благодаря пробнику 10:1 делителя на осциллографе отобразится сигнал 10 V .

При выполнении лабораторной работы № 5 (Компенсация пассивных пробников 10:1) мы вернемся к модели пассивных пробников уже с учетом емкостных компонентов. Эти элементы в электрической схеме пробника/осциллографа оказывают влияние на характеристики динамического диапазона/переменного тока в объединенной системе осциллографа и пробников.

Обзор лицевой панели

Знакомство с прибором начнем с обзора самых важных элементов управления/ручек осциллографа. В верхней части осциллографа расположены элементы управления “Коеф. развертки” (см. **Рис. 4**). С помощью крупной ручки регулируется число секунд на деление. Другими словами, она задает масштаб по оси X для выводимого сигнала. Одно деление по горизонтали представляет в Δ раз отличается от цены деления между вертикальными линиями сетки. При необходимости просмотра быстрых кривых (сигналов с высокой частотой) масштаб по горизонтали (значение сек/дел) следует уменьшить. При необходимости просмотра медленных кривых (сигналов с низкой частотой) масштаб по горизонтали (значение сек/дел) следует увеличить. С помощью маленькой ручки в секции Horizontal (Развертка) регулируется положение кривой по горизонтали. Т. е. можно перемещать кривую по горизонтали влево или вправо. Элементы управления разверткой осциллографа (сек/дел и положение) часто называют главными элементами управления временной развертки осциллографа.



Рис. 4 Элементы управления разверткой (по оси X) осциллографа

Элементы управления/ручки в нижней части осциллографа (см. **Рис. 5**) в области “Коеф. отклонения” (над входами BNC) отвечают за масштаб осциллографа по вертикали. На 2-канальном осциллографе присутствуют две пары элементов управления масштабом по вертикали. На 4-канальном осциллографе есть четыре пары элементов управления масштабом по вертикали. С помощью большой ручки каждого входного канала в области “Коеф. отклонения” регулируется коэффициент масштабирования по вертикали в вольтах на деление. Иными словами — это визуальный масштаб сигналов по оси Y. Одно деление по вертикали представляет собой Δ напряжения между горизонтальными линиями сетки. Для наблюдения за достаточно большими сигналами (с большой полной амплитудой напряжений) нужно увеличить настройку вольт/деление. Для наблюдения за маленькими сигналами нужно уменьшить настройку вольт/деление. Маленькие элементы управления/ручки каждого канала в области “Коеф. отклонения” предназначены для настройки положения/смещения. Используйте их для перемещения кривой на экране вверх и вниз.

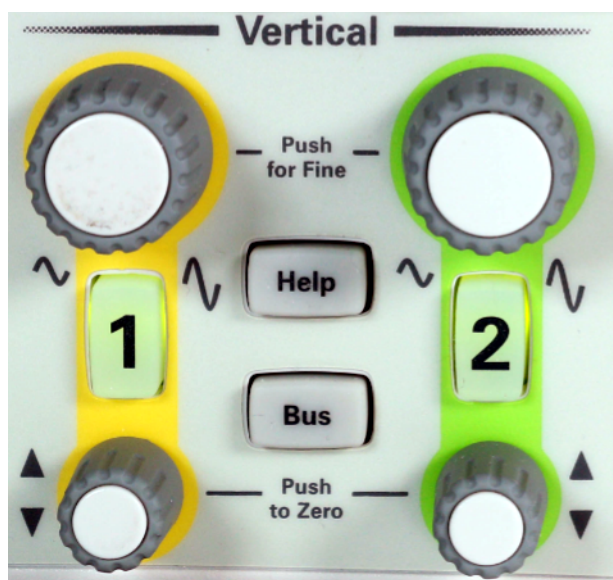


Рис. 5 Элементы управления осциллографа “Кэф. отклонения” (по оси Y)

Еще одним важным элементом управления осциллографа является ручка уровня запуска (см. [Рис. 6](#)). Она расположена справа от ручек управления коэффициентом отклонения, непосредственно под секцией с подписью **Триггер**. Функцию запуска осциллографа зачастую недопонимают, однако крайне важно уметь правильно ее использовать. Функция запуска будет рассмотрена более подробно в соответствующих практических лабораторных работах.



Рис. 6 Элемент управления запуском осциллографа

Любое слово в лабораторном руководстве, выделенное жирным шрифтом в квадратных скобках, например **[Help] Справка**, обозначает клавишу (или кнопку) лицевой панели, которая расположена на правой стороне осциллографа. После нажатия любой кнопки откроется меню с уникальным набором программных кнопок для выбранной на лицевой панели функции. “Программные кнопки” — это 6 клавиш/кнопок справа от дисплея осциллографа. Функции этих кнопок изменяются в зависимости от открытого меню.

Теперь найдите ручку **ввода**, изображенную на [Рис. 7](#). Ручка ввода находится в темно-серой области справа от дисплея осциллографа. Этой ручкой придется пользоваться довольно часто для изменения набора параметров, для которых нет отдельных элементов управления на лицевой панели. Изогнутая зеленая стрелка

1 Начало работы

(↻) на выбранной программной кнопке означает, что изменением этой переменной управляет ручка **ввода**. Обратите внимание, что эта ручка используется и для настройки уровня яркости кривой. Теперь приступим к проведению измерений с помощью осциллографа.



Рис. 7 Универсальная ручка ввода осциллографа

2 Лабораторные работы по основным измерениям с помощью осциллографа и WaveGen

Лабораторная работа № 1. Проведение измерений синусоидальных волн / 18

Лабораторная работа № 2. Изучение основ синхронизации осциллографа / 25

Лабораторная работа № 3. Включение при сигналах с высоким уровнем
шума / 30

Лабораторная работа № 4. Регистрация и сохранение результатов тестов
осциллографа / 35

Лабораторная работа № 5. Компенсация пассивных пробников 10:1 / 40

Лабораторная работа № 6. Использование встроенного генератора функций
WaveGen / 45

Лабораторная работа № 1. Проведение измерений синусоидальных волн

Первая лабораторная работа предназначена для ознакомления с элементами управления масштабом развертки и масштабом по вертикали, которые предназначены для настройки осциллографа на вывод повторяющихся синусоидальных волн. Кроме того, в ней описано проведение простых измерений напряжения и времени для этой волны.

- 1 Подключите первый пробник осциллографа к входу BNC канала 1 и выходному контакту с подписью “Demo” (Демонстрация), как показано на **Рис. 8**. Подключите зажим заземления пробника к центральному контакту (заземлению).

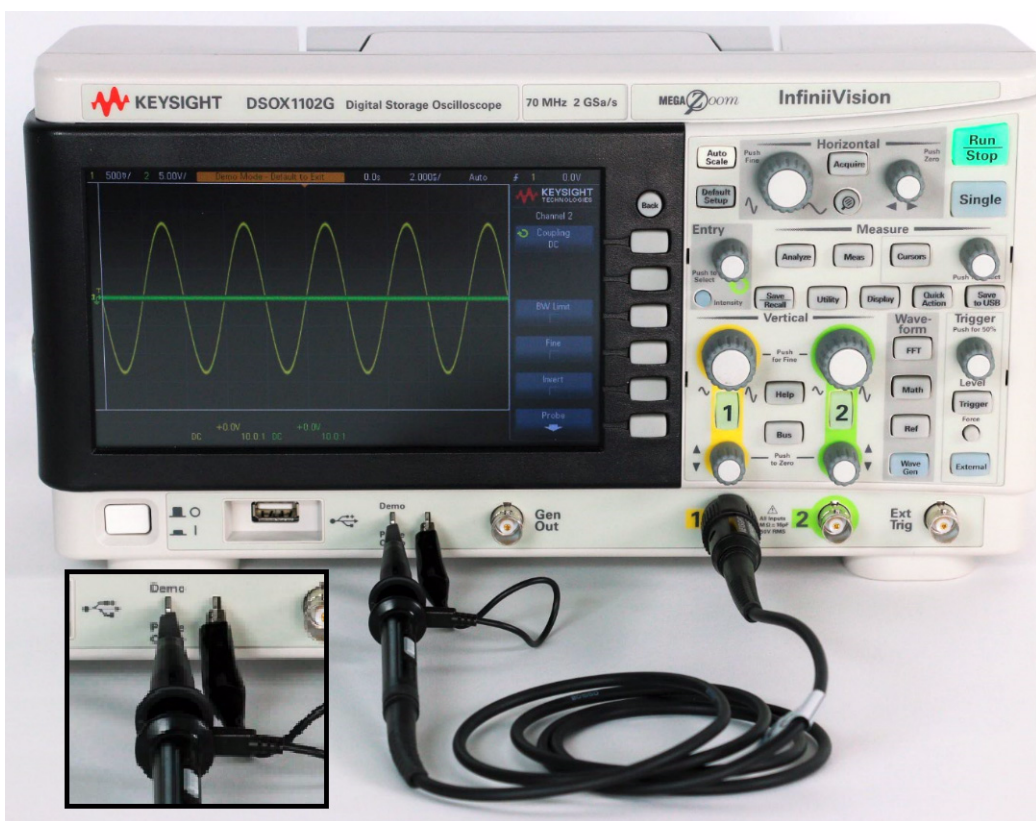


Рис. 8 Подключение пробника к входу канала 1 и выходному контакту обучающего сигнала

- 2 Рядом с правой верхней областью на лицевой панели нажмите кнопку **[Default Setup]** **Настройка по умолчанию**.

При выборе **Настройка по умолчанию** на осциллографе будет восстановлена заводская конфигурация. Восстановятся не только коэффициенты масштабирования по осям X и Y, но и будут отключены все особые режимы работы, которые, возможно, использовались ранее.

- 3 На лицевой панели нажмите кнопку **[Help] Справка** (рядом с элементами управления по вертикали канала 2).
- 4 Нажмите программную кнопку **Обуч. сигналы**, расположенную справа от дисплея осциллографа.
- 5 Нажмите программную кнопку **Обуч. сигналы** для отображения меню, используя ручку **ввода**, выберите сигнал **Синусоида** (в верхней части списка), затем нажмите программную кнопку **Вывод** для включения.

Теперь на контакте “Demo” (Демонстрация) должна быть синусоидальная волна, но определить ее при коэффициентах масштабирования по умолчанию невозможно. Теперь настроим параметры по осям, чтобы расширить и отцентровать кривую на дисплее.

- 6 Крутите ручку В/дел канала 1 по часовой стрелке, пока кривая не будет занимать больше $\frac{1}{2}$ экрана. Правильная настройка должна составить **500 мВ/дел**, что видно по значению “500 мВ/” в левом верхнем углу дисплея.
- 7 Поверните ручку с/дел (большая ручка в области “Коэф.развертки”) по часовой стрелке так, чтобы на дисплее отображалось больше двух циклов синусоидальной волны. Правильная настройка должна составить **1,000 мкс/дел**, что видно по значению “1,000 мкс/” в центре верхней части дисплея. Вид на дисплее осциллографа теперь должен соответствовать **Рис. 9**. Далее эти значения будем называть настройкой временной развертки осциллографа.

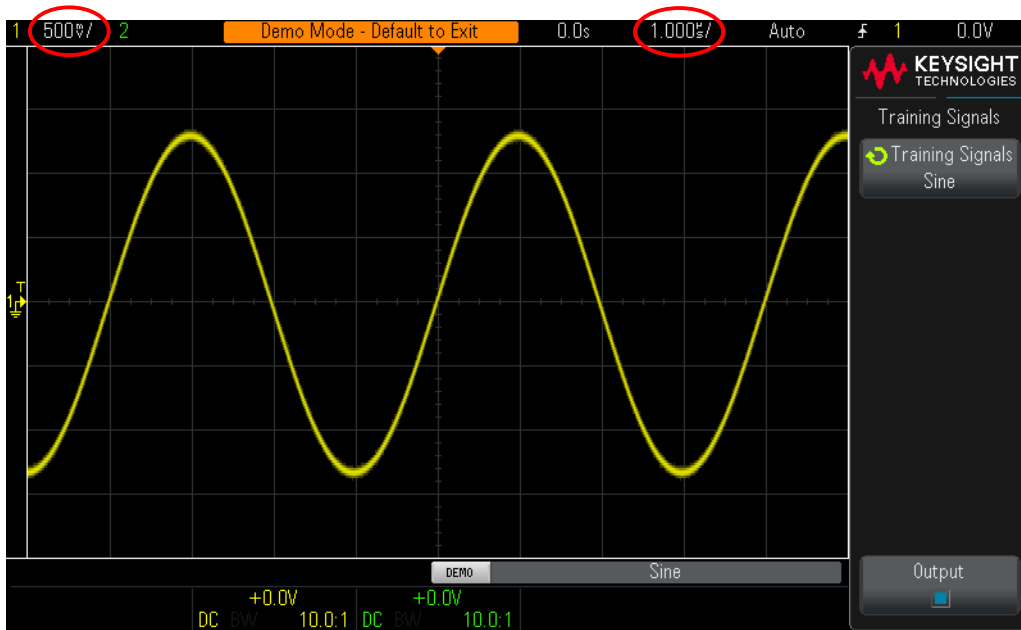


Рис. 9 Начальная настройка для просмотра обучающего сигнала синусоидальной волны

- 8 Поверните ручку положения коэффициента развертки, чтобы переместить кривую влево или вправо.
- 9 Нажмите эту ручку, чтобы сбросить значение до нуля (0,0 секунд по центру экрана).
- 10 Поверните ручку положения канала 1 по вертикали, чтобы переместить кривую вверх и вниз. Обратите внимание, что индикатор заземления слева тоже перемещается. Он обозначает положение 0,0 Вольт (уровень заземления) на этой кривой.
- 11 Нажмите ручку положения канала 1 по вертикали, чтобы заземление (0,0 В) снова находилось по центру экрана.

Теперь выполним несколько измерений для повторяющейся синусоидальной волны. Обратите внимание, что изображение на осциллографе по сути представляет собой график зависимости Y от X . По оси X (по горизонтальной) откладывается время, по оси Y (по вертикальной) — напряжение. На многих курсах по электротехнике и физике вам, вероятно, уже приходилось рассчитывать и рисовать электрические сигналы в похожем виде на бумаге. Или, может быть, вы работали с программным обеспечением ПК для автоматического построения кривых сигналов. Если на осциллограф поступает повторяющийся входной сигнал, то можно наблюдать его динамически (непрерывно обновляющимся) в виде кривых на дисплее.

Оси X поделены на 10 основных делений, значения которых зависят от настройки сек/дел. В данном случае каждое основное деление по горизонтали соответствует 1 микросекунде, т. к. установлена временная развертка осциллографа 1,000 мкс/дел, как было указано ранее. Так как на экране по горизонтали 10 делений, то осциллограф показывает отрезок времени 10 мкс (1,000 мкс/дел x 10 делений) слева направо. Каждый основной отрезок разделен на 4 меньших отрезка штриховыми метками на горизонтальных осях по центру. Каждое малое деление в нашем случае соответствует $1/4 \text{ дел} \times 1 \text{ мкс/дел} = 250 \text{ нс}$.

Ось Y состоит из 8 основных отрезков по вертикали, каждый основной отрезок соответствует настройке В/дел, для которой должно быть задано значение 500 мВ/дел. При использовании этого значения осциллограф может измерять сигналы до 4 В парного импульса (500 мВ/дел x 8 делений). Каждый основной отрезок разделен на 5 малых. Каждое малое деление в виде штриховой метки на вертикальных осях по центру соответствует 100 мВ.

- 12** Определите период (T) одной из синусоидальных волн, сосчитав число делений (основных и малых) от значения 0,0 В одного переднего фронта (по центру экрана) до 0,0 В следующего, а затем умножив полученное значение на настройку с/дел (1,000 мкс/дел в данном случае).

$$T = \underline{\hspace{2cm}}$$

- 13** Частота этой синусоидальной волны ($F = 1/T$).

$$F = \underline{\hspace{2cm}}$$

Теперь определим значение полной амплитуды напряжения для этой синусоидальной волны, но сначала немного изменим настройку по вертикали, чтобы выполнить измерение более точно.

- 14** Крутите ручку положения канала 1 по вертикали (маленькая ручка под подсвеченной кнопкой "1"), пока отрицательные пики синусоидальных волн не будут пересекать одну из основных линий координатной сетки (или линий сетки).
- 15** Далее крутите ручку положения коэффициента развертки (маленькая ручка наверху лицевой панели), пока один из положительных пиков синусоидальных волн не пересечет вертикальную ось по центру экрана со штриховыми метками малых делений.
- 16** Теперь рассчитайте полную амплитуду напряжения волны, сложив число делений (основных и малых) от отрицательного до положительного пика и умножив полученное значение на настройку В/дел (500 мВ/дел в данном случае).

$$V \text{ дв.амп} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Теперь, используя функцию курсора, выполним эти же измерения напряжения и времени, но уже без подсчета делений и умножения их на коэффициенты масштабирования. На лицевой панели в области [Measure] Измерения найдите ручку [Cursors] Курсоры (см. Рис. 10).



Рис. 10 Ручка [Cursors] Курсоры проведения измерений

- 17** Нажмите ручку [Cursors] Курсоры, затем поверните ее и выберите “X1”; далее снова нажмите ручку для выбора (если после перехода к курсору X1 не нажать ее вторично, то через некоторое время курсор X1 будет выбран автоматически и меню закроется).
- 18** Крутите ручку [Cursors] Курсоры, пока курсор X1 (маркер времени № 1) не пересечет передний фронт синусоидальной волны в месте с нужным уровнем напряжения. Совет. Совместите курсор с точкой на кривой, там где она пересекает одну из горизонтальных линий сетки.
- 19** Снова нажмите ручку [Cursors] Курсоры, затем поверните ее и выберите “X2”; нажмите ручку еще раз для выбора.
- 20** Крутите ручку [Cursors] Курсоры, пока курсор X2 (маркер времени № 2) не пересечет следующий передний фронт синусоидальной волны в месте с тем же уровнем напряжения.
- 21** Снова нажмите ручку [Cursors] Курсоры, затем поверните ее и выберите “Y1”; нажмите ручку еще раз для выбора.

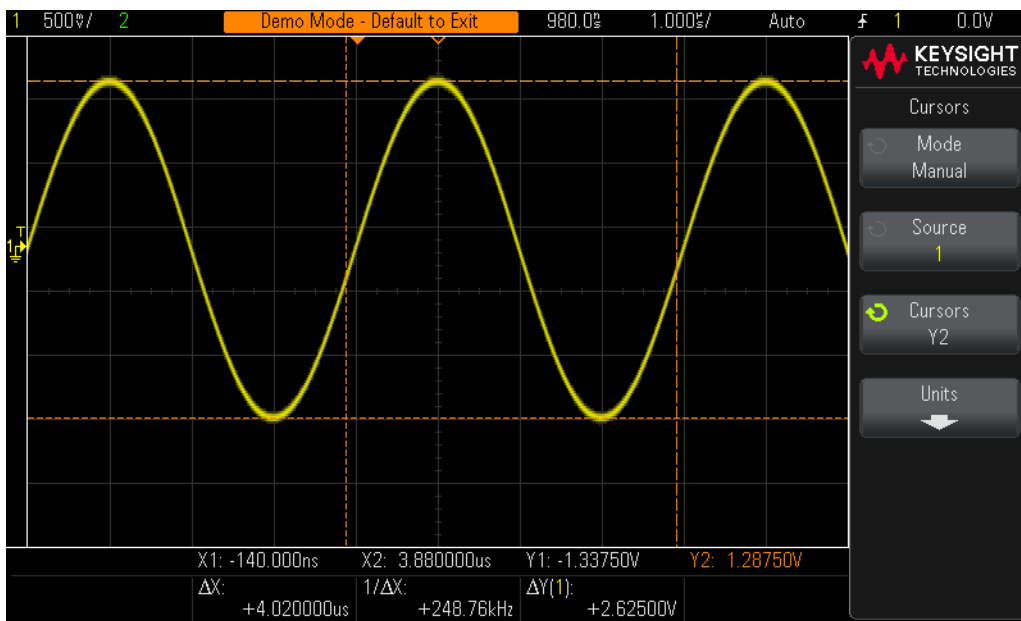


Рис. 11 Измерения с помощью курсора осциллографа

- 22 Крутите ручку [Cursors] Курсоры, пока курсор Y1 (маркер напряжения № 1) не пересечет отрицательные пики синусоидальных волн.
- 23 Снова нажмите ручку [Cursors] Курсоры, затем поверните ее и выберите “Y2”; нажмите ручку еще раз для выбора.
- 24 Крутите ручку [Cursors] Курсоры, пока курсор Y2 (маркер напряжения № 2) не пересечет положительные пики синусоидальных волн.
- 25 Определите период, частоту и полную амплитуду напряжения этого сигнала (вывод данных курсоров на правой стороне дисплея).

$$\Delta X = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$1/\Delta X = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\Delta Y(1) = \underline{\hspace{2cm}}$$

Самый распространенный метод для измерения времени и напряжения — это метод подсчета делений на осциллографе, который мы использовали первым. Несмотря на то, что в общем случае необходимо считать деления и умножать их на настройки осциллографа, специалисты, хорошо знакомые с приборами, могут быстро оценить напряжение и время сигналов... а иногда и навскидку определить правильный и неправильный сигнал.

С помощью курсоров можно проводить измерение немного точнее и не строя предположений. Большинство современных осциллографов могут проводить автоматические измерения параметров еще точнее и быстрее. Автоматические

2 Лабораторные работы по основным измерениям с помощью осциллографа и WaveGen

параметрические измерения с помощью осциллографа рассматриваются в лабораторной работе № 10 по проведению измерений цифровых сигналов. А сейчас мы рассмотрим синхронизацию осциллографа.

Лабораторная работа № 2. Изучение основ синхронизации осциллографа

Как было сказано ранее, синхронизация (или запуск) осциллографа — это, возможно, наиболее важная его особенность, которую необходимо знать для эффективного проведения измерений. Это особенно важно при измерениях множества современных сложных цифровых сигналов. К сожалению, синхронизация часто остается непонятной.

Синхронизацию осциллографа можно сравнить с синхронизированной фотосъемкой. В регистрируемом и выводимом осциллографом повторяющемся входном сигнале могут быть тысячи изображений в секунду. Чтобы наблюдать за такими сигналами (или фотографиями), фотосъемку необходимо с чем-то синхронизировать. За точку синхронизации принимается время во входном сигнале или время на основе комбинации логического типа в этих сигналах (синхронизация по логическому шаблону) при использовании нескольких каналов в осциллографе.

Синхронизацию осциллографа можно сравнить с фотофинишем на скачках. Несмотря на то, что это не повторяющиеся событие, затвор фотоаппарата должен быть синхронизирован с моментом, когда нос лидирующей лошади пересекает линию финиша. Случайная фотосъемка скачек между стартом и финишем аналогична просмотру несинхронизированных кривых на осциллографе.

Чтобы лучше понять синхронизацию осциллографа, выполним несколько измерений синусоидальной волны, уже знакомой по лабораторной работе № 1.

- 1 Убедитесь, что пробник осциллографа все еще подключен к контакту с подписью “Demo” (Демонстрация) и входу BNC канала 1.
- 2 На лицевой панели осциллографа нажмите клавишу **[Default Setup] Настройка по умолчанию**.
- 3 Нажмите кнопку **[Help] Справка**, затем нажмите программную кнопку **Обуч. сигналы**.
- 4 С помощью ручки **ввода** выберите обучающий сигнал **Синусоида**, затем нажмите программную кнопку **Вывод** для его включения.
- 5 Установите значение В/дел канала 1 **500 мВ/дел**.
- 6 Установите для временной развертки осциллографа значение **1,000 мкс/дел**.
- 7 На лицевой панели нажмите кнопку **[Trigger] Триггер**.
- 8 Нажмите программную кнопку **Тип запуска**.

Изображение на дисплее осциллографа теперь должно быть похожим на то, что показано на **Рис. 12**. При условиях запуска осциллографа по умолчанию он запускается по (синхронизирован с) переднему (согласно выбору отклонения) фронту (согласно выбору типа запуска) синусоидальной волны, измеряемой и регистрируемой с помощью канала 1 (согласно выбору источника), когда кривая сигнала пересекает уровень 0,0 В (согласно настройке уровня запуска). Этот момент

времени находится по центру экрана в месте пересечения осей, если положение по горизонтали равно 0,0 сек (по умолчанию). Данные формы сигнала, зарегистрированные до точки запуска (на левой части дисплея), считаются данными отрицательного времени, а данные формы сигнала, зарегистрированные после точки (на правой части дисплея), — данными положительного времени.



Рис. 12 Синхронизация осциллографа с передним фронтом канала 1 при 0,0 Вольт

Закрашенный оранжевый треугольник в верхней части дисплея обозначает расположение момента времени запуска (0,0 с). При изменении задержки/положения по горизонтали он смещается относительно центра. Незакрашенный оранжевый треугольник по центру экрана (появляется при задержке/положении не равным 0,0 с) обозначает время задержки при использовании точки отсчета по умолчанию.

- 9 Поверните ручку уровня запуска по часовой стрелке, чтобы увеличить значение напряжения уровня запуска.
- 10 Поверните ручку уровня запуска против часовой стрелки, чтобы уменьшить значение напряжения уровня запуска.

После увеличения значения напряжения уровня запуска синусоидальная волна смещается по оси X влево. После уменьшения — волна смещается вправо. При повороте ручки уровня запуска появляется оранжевый индикатор уровня запуска по горизонтали, а в правом верхнем углу дисплея — точное значение напряжения запуска. После поворота ручки этот индикатор через несколько секунд пропадет с экрана. Вместо него слева, за пределами координатной сетки кривой, появится желтый индикатор уровня запуска, который обозначает уровень запуска относительно кривой.

- 11 Поверните ручку уровня запуска, чтобы установить уровень запуска **500 мВ** (1 деление выше центра экрана). Точное значение уровня запуска отображается в верхнем правом углу экрана.
- 12 Нажмите программную кнопку **Отклонение** и выберите условие запуска фронта **Задний**.

Синусоидальная волна “перевернется” на 180 градусов и задний фронт кривой будет синхронизирован по центру экрана, как показано на **Рис. 13**.



Рис. 13 Запуск по заднему фронту синусоидальной волны при +500 мВ

- 13 Увеличивайте значение напряжения уровня запуска, пока оранжевый индикатор уровня не будет находиться выше положительных пиков синусоидальной волны (приблизительно на +1,5 В).

Если уровень запуска находится выше кривой, то сбор данных и изображение (повторяющаяся съемка) уже не синхронизированы с входным сигналом, так как при этом уровне запуска отсутствуют пересечения фронтов. Изображение на дисплее осциллографа теперь должно быть похожим на то, что показано на **Рис. 14**. Теперь осциллограф находится в режиме автоматического запуска.

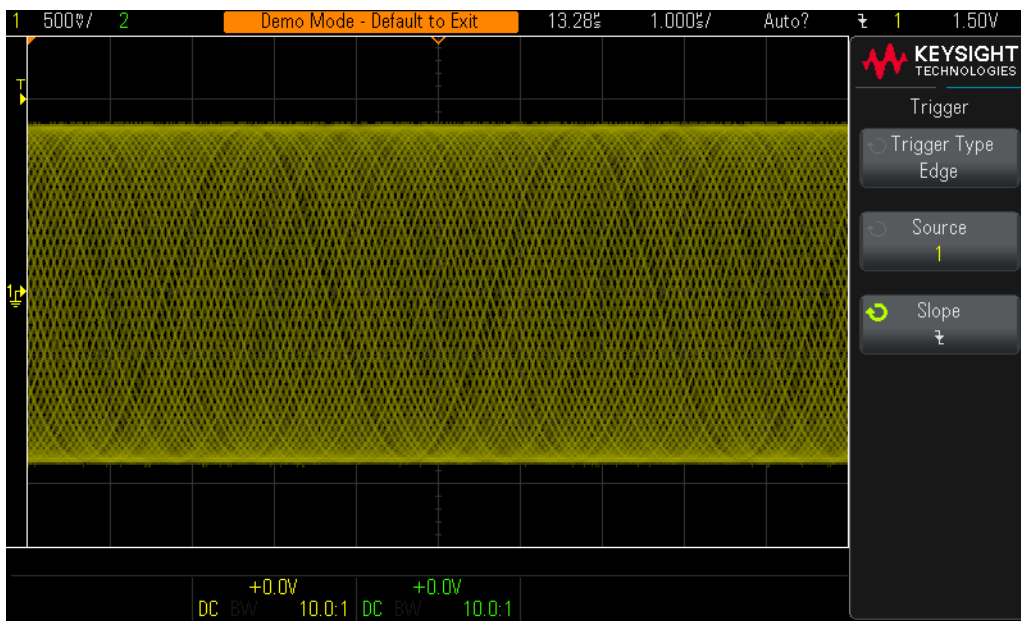


Рис. 14 Автоматический запуск с уровнем выше входного сигнала

Режим **Автозапуск** является режимом осциллографа по умолчанию. Если осциллограф находится в режиме **Автозапуск** и он не обнаружил подходящего условия запуска (в нашем случае — пересечения фронта синусоидальной волны) в течение определенного времени (оно может быть разным и зависит от настройки временной развертки), то прибор создает собственный асинхронный запуск и начинает съемку (сбор данных) входного сигнала в случайные моменты времени. Так как съемка выполняется случайным образом (не синхронизирована с входным сигналом), то кривые на экране размыты. Размытие как раз свидетельствует о том, что осциллограф не выполняет запуск по входному сигналу.

14 Чтобы автоматически установить уровень запуска на примерно на 50 %, нажмите ручку уровня запуска.

15 Отсоедините пробник канала 1 от контакта “Demo” (Демонстрация).

Теперь мы должны видеть сигнал постоянного тока базового уровня 0,0 В. Так как с сигналом постоянного тока 0,0 В пересечения фронтов отсутствуют и, следовательно, осциллограф не с чем синхронизировать, то включится автоматический запуск, при котором сигнал уровня постоянного тока начнет выводиться на экран.

Кроме режима **Автозапуск**, пользователь может выбрать режим запуска **Нормальный**. Рассмотрим отличия между режимами запуска **Нормальный** и **Автозапуск**.

16 Снова подсоедините пробник канала 1 к контакту “Demo” (Демонстрация). Теперь синхронизированная синусоидальная волна снова отображается на экране.

17 На лицевой панели нажмите клавишу **[Trigger] Триггер**, затем нажмите программную кнопку **Режим**.

18 Поверните ручку **ввода**, чтобы переключить режим запуска с **Авто** на **Нормальный**. На данном этапе выводимые сигналы должны быть одинаковыми.

19 Снова отсоедините пробник канала 1 от контакта “Demo” (Демонстрация).

Теперь можно видеть последнюю засечку (последнее изображение) перед отключением пробника. На дисплее отсутствует кривая уровня постоянного тока 0,0 В, которая отображалась в режиме **Автозапуск**. В режиме **Нормальный запуск** осциллограф отображает кривые *только* если он обнаружил подходящие условия запуска (в данном случае пересечения фронтов).

20 Поверните ручку запуска по часовой стрелке, чтобы задать уровень запуска +1,50 В (т. е. выше измеряемой синусоидальной волны).

21 Снова подсоедините пробник канала 1 к контакту “Demo” (Демонстрация).

Сигнал синусоидальной волны теперь поступает в осциллограф, но где же циклическая кривая? Так как включен режим запуска **Нормальный**, то осциллографу нужны действительные пересечения фронтов. Но уровень запуска задан выше кривой (@ +1,50 В) и пересечения отсутствуют. Ясно, что в режиме запуска **Нормальный** кривая не найдена и значение постоянного тока измерить невозможно.

22 Чтобы автоматически приблизительно установить уровень запуска на 50 %, нажмите ручку уровня запуска. На осциллографе должны снова появиться повторяющиеся кривые.

В некоторых осциллографах старых моделей режим запуска **Нормальный** называется режимом **Инициированный**. Это название лучше характеризует такой режим, так как в нем осциллограф запускается только при выполнении подходящего условия запуска и он не использует автоматического запуска (асинхронный запуск для проведения асинхронной съемки). Режим запуска **Нормальный** не соответствует прямому смыслу слова “нормальный”, так как не является режимом запуска осциллографа по умолчанию. Обычно используется режим запуска **Авто**, который и является режимом запуска по умолчанию.

На этом этапе у вас может возникнуть вопрос относительно использования режима запуска **Нормальный**. Режим запуска **Нормальный** следует использовать, когда событие запуска происходит крайне редко (например, при однократном событии). Например, осциллограф настроен на отображение очень узкого пульса, но если он проявляется с частотой 1 Гц (один раз в секунду) и включен режим запуска **Авто**, то прибору придется генерировать множество асинхронных автоматических запусков и он не сможет отобразить такой пульс. В такой ситуации лучше выбрать режим запуска **Нормальный**, в котором осциллограф, прежде чем отображать кривые, ожидает возникновения подходящего события запуска. Подключение к такому сигналу будет выполняться немного позже в лабораторных работах № 8 и № 9. Сейчас рассмотрим включение при сигналах с высоким уровнем шума.

Лабораторная работа № 3. Включение при сигналах с высоким уровнем шума

Повторяющаяся синусоидальная волна — возможно самый простой тип сигнала для регистрации на осциллографе. Но в реальных условиях сигналы не являются простыми. В этой лабораторной работе мы узнаем как регистрировать сигналы в условиях повешенного шума (в реальных условиях) и избавляться от шумов в оцифрованных сигналах с помощью усреднения.

- 1 Убедитесь, что пробник осциллографа все еще подключен к контакту с подписью “Demo” (Демонстрация) и входу BNC канала 1.
- 2 На лицевой панели осциллографа нажмите клавишу **[Default Setup] Настройка по умолчанию**.
- 3 Нажмите кнопку **[Help] Справка**, затем нажмите программную кнопку **Обуч. сигналы**.
- 4 С помощью кнопки **ввода** выберите сигнал **Синусоида с шумом**, затем нажмите программную кнопку **Вывод**, чтобы включить его.
- 5 Установите значение В/дел канала 1 **500 мВ/дел**.
- 6 Установите для временной развертки осциллографа значение **200,0 мкс/дел**.

Несмотря на то, что условие в настройке по умолчанию осциллографа определяет запуск по передним фронтам при 0,0 В, кажется, что осциллограф запускается при передних и задних фронтах нашей синусоиды с шумом (см. **Рис. 15**). На самом деле осциллограф запускается ТОЛЬКО при передних фронтах. Видимость запуска по заднему фронту синусоидальной волны создается запуском по переднему фронту случайного шума, который присутствует в сигнале.

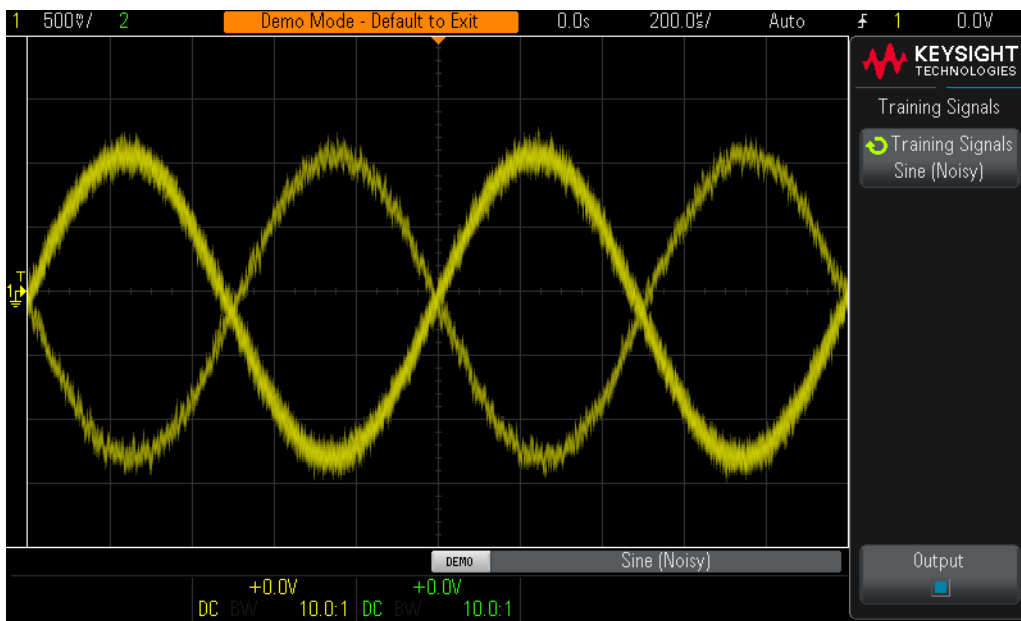


Рис. 15 Запуск по сигналам в условиях повышенного шума

- 7 Задайте временную развертку **200,0 нс/дели** убедитесь, что осциллограф включается по переднему фронту шума.
- 8 Вернитесь к временной развертке осциллографа **200,0 мкс/дел.**

Подумайте, как можно синхронизировать осциллограф только с передним фронтом синусоидальной волны (без шума)? Теперь перейдем к параметрам связи триггеров, которые может выбрать пользователь.

- 9 На лицевой панели нажмите кнопку **[Trigger] Триггер** (рядом с ручкой уровня запуска).
- 10 Чтобы включить фильтр высокочастотного заграждения, нажмите программную кнопку **ВЧ-заграждение**.

Входной сигнал на осциллографе разделяется надвое и проходит внутри прибора по двум разным аналоговым путям. Сигнал, проходящий одним путем, регистрируется системой сбора данных осциллографа (системой съемки). Похожий сигнал проходит другим путем и обрабатывается аналоговой схемой запуска осциллографа. (См. блок-схему осциллографа в приложении А.) Если выбрано **ВЧ-заграждение**, то сигнал, обрабатываемый аналоговой схемой запуска осциллографа, сначала проходит через фильтр низких частот 50 кГц. Так как шум включает в себя широкий спектр частот, в том числе и с большими частотами, то через схему запуска проходит синусоидальная волна с удаленным/погашенным шумом, а сигнал через систему сбора данных проходит неизменным (вместе с шумом). Поэтому на **Рис. 16** виден шум, но в схему запуска осциллографа он не поступает. Однако в этом процессе присутствуют ограничения.

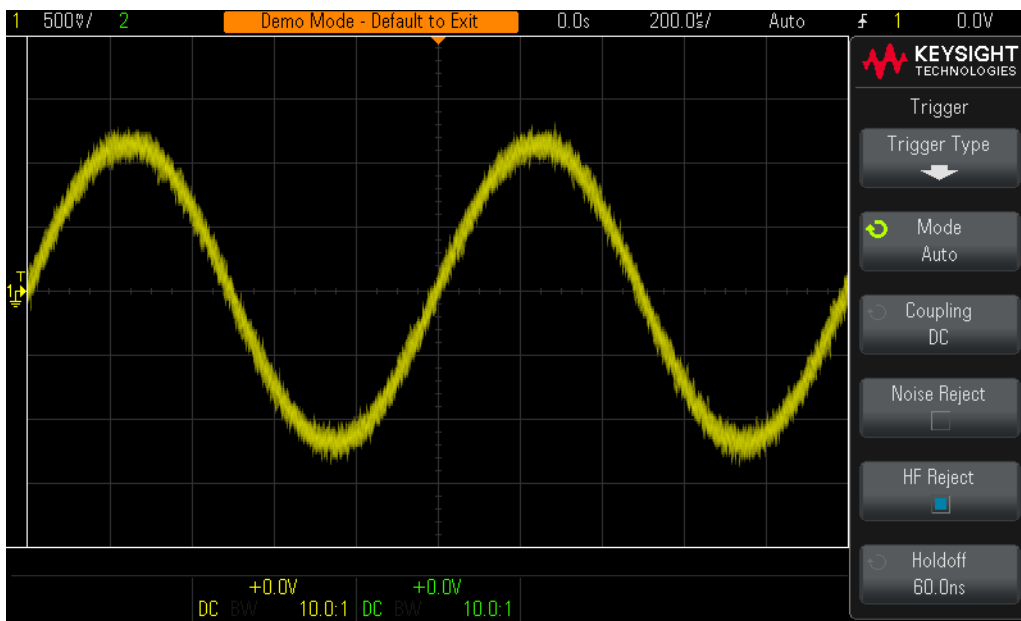


Рис. 16 Запуск по синусоидальной волне с шумом с использованием ВЧ-заграждения

Так как фильтр **ВЧ-заграждение** основан на фильтре низких частот 50 кГц прибора, то его можно использовать для сигналов с высокими частотами. Этот фильтр низких частот 50 кГц не оказывает влияния на обучающий сигнал синусоидальной волны 1 кГц. Но если использовать триггер **ВЧ-заграждение** для синусоидальной волны 20 МГц, то фильтр 50 кГц погасит и шум и основную синусоиду 20 МГц и запуск станет невозможен. В этом случае могут помочь две возможности.

- 11** Чтобы выключить заграждение, снова нажмите программную кнопку **ВЧ-заграждение**. По изображению на экране может показаться, что осциллограф снова производит запуск по передним и задним фронтам синусоидальной волны.
- 12** Чтобы выключить фильтр подавления шума, нажмите программную кнопку **Под. шума**.

Фильтр **Под. шума** основан не на частоте, а на амплитуде. До сих пор мы говорили об одном уровне запуска, но на самом деле сигнал должен преодолеть два уровня, чтобы рассматриваться как допустимый триггер. Это называется гистерезисом триггера, иногда — чувствительностью триггеров. Чувствительность триггеров большинства осциллографов по умолчанию составляет 0,5 деления. То есть колебание входных сигналов должно быть не менее 0,5 деления полной амплитуды, чтобы подходящие условия запуска считались выполненными. Однако это означает и то, что осциллографы реагируют на шум с колебанием полной амплитуды более 0,5 деления. Если выбрана функция **Под. шума**, то суммарный гистерезис осциллографа расширяется примерно до 1,0 деления. Для данной синусоидальной волны с шумом гистерезис триггера 1,0 деление устранил затруднения в большинстве случаев. Если на дисплее осциллографа наблюдается

дрожание, то это означает, что гистерезис 1,0 деление не достаточен. Другим вариантом решения этого затруднения является функция задержки запуска осциллографа, которая рассматривается в лабораторной работе № 7.

Перед тем как завершить измерения этой синусоидальной волны с шумом, подумайте, как отобразить синусоидальную волну без случайного шума и выполнить ее измерения?

- 13 Нажмите программную кнопку **ВЧ-заграждение**. Теперь чтобы обеспечить стабильный запуск, необходимо включить фильтрации ВЧ-заграждения и подавления шума.
- 14 На лицевой панели в области “Waveform” (Сигнал) (под ручкой курсоров) нажмите кнопку **[Acquire] Захват**.
- 15 Поверните ручку **ввода**, чтобы изменить режим сбора данных с **Нормальный** на **Усреднение**.

В режиме сбора данных **Усреднение** осциллограф усредняет значения нескольких сигналов. Если шум в сигнале случайный, то он усредняется для проведения более точных измерений основного сигнала, как показано на **Рис. 17**.

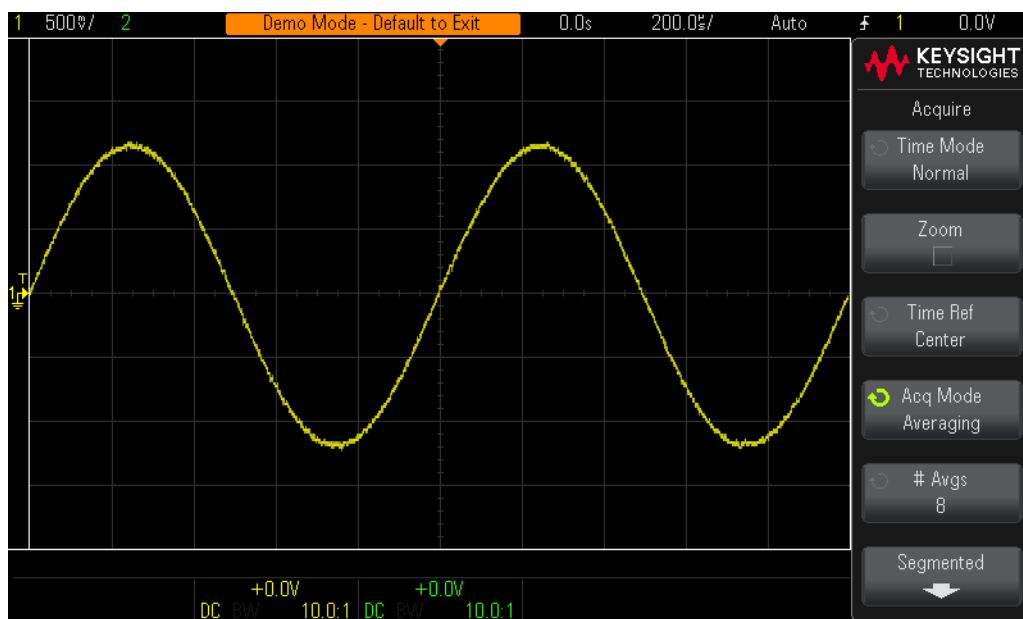


Рис. 17 Использование режима сбора данных “Усреднение” для устранения шума

- 16 С помощью методики измерений из лабораторной работы № 1 определите следующие величины:

Период = _____

Част = _____

2 Лабораторные работы по основным измерениям с помощью осциллографа и WaveGen

V дв.амп = _____

Лабораторная работа № 4. Регистрация и сохранение результатов тестов осциллографа

После завершения лабораторных работ по изучению различных цепей преподаватель может попросить составить протокол испытания. В отчет по лабораторной работе может потребоваться вставить изображения (рисунки) с измерениями. Кроме того, одного сеанса может оказаться недостаточно для выполнения всей лабораторной работы. Желательно продолжить работу с того места где она была прервана, без перенастройки осциллографа или сигналов. В данной лабораторной работе вы узнаете как сохранить и открыть файлы осциллографа разных типов, например, изображения, опорные сигналы и настройки. В этой лабораторной работе вам потребуется персональное запоминающее устройство USB.

- 1 Убедитесь, что пробник осциллографа все еще подключен к контакту с подписью "Demo" (Демонстрация) и входу BNC канала 1.
- 2 На лицевой панели осциллографа нажмите клавишу **[Default Setup] Настройка по умолчанию**.
- 3 Нажмите кнопку **[Help] Справка**, затем нажмите программную кнопку **Обуч. сигналы**.
- 4 С помощью ручки **ввода** выберите сигнал **Синусоида**, затем нажмите программную кнопку **Вывод** для его включения.
- 5 Установите значение В/дел канала 1 **500 мВ/дел**.
- 6 Установите для временной развертки осциллографа значение **2 мкс/дел**.

На экране осциллографа должны отображаться пять циклов синусоидальной волны, как показано на **Рис. 18**. Теперь сохраним изображение (рисунок), сигнал и настройку.

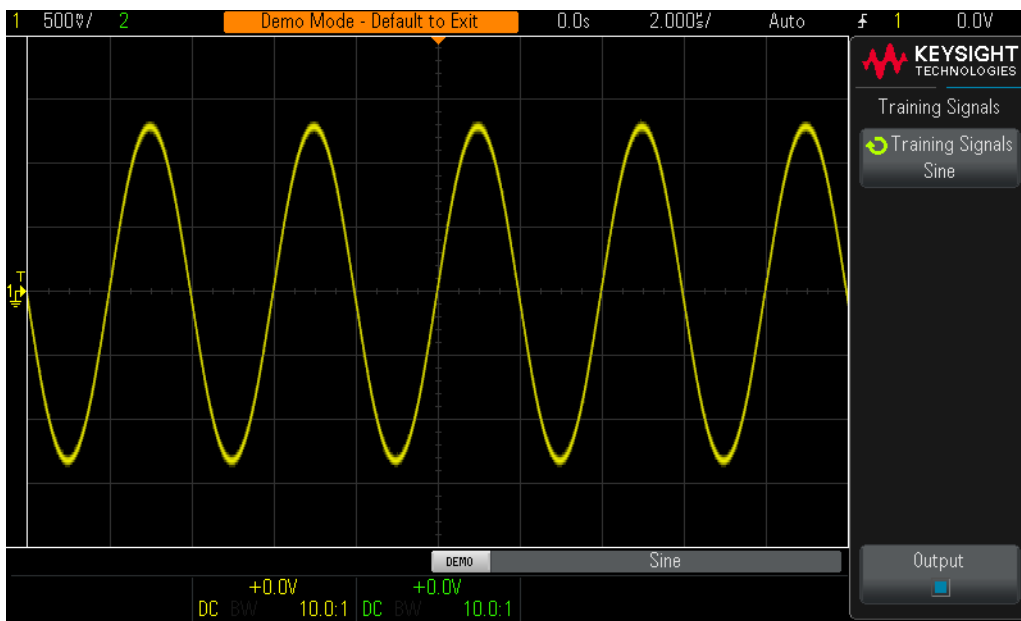


Рис. 18 Пять циклов синусоидальной волны, которые нужно сохранить для последующего анализа

- 7 Вставьте персональное запоминающее устройство USB в порт USB на лицевой панели осциллографа.
- 8 На лицевой панели под ручкой [Cursors] Курсоры в секции [File] Файл нажмите кнопку **[Save/Recall] Сохранить/восстановить**.
- 9 Нажмите программную кнопку **Сохранить**, затем **Формат**.
- 10 С помощью ручки **ввода**, выберите **изображение PNG 24 бита (*.png)**.
- 11 Нажмите программную кнопку **Сохранить в** (или **Нажать для перехода**), затем с помощью ручки **ввода** выберите **\usb**.
- 12 Нажмите программную кнопку **Имя файла**, затем поверните ручку **ввода** и задайте этому файлу имя. Выберите имя **test**.
- 13 При повороте универсальной ручки ввода появится строка с буквами и цифрами. Выберите первую букву имени, в нашем случае **"t"** и нажмите программную кнопку **ввода** или ручку **ввода**.
- 14 Повторите шаг № 13 для каждого символа в имени файла.
- 15 Чтобы удалить все оставшиеся символы от имени по умолчанию, нажмите программную кнопку **Удалить**.
- 16 Нажмите программную кнопку **Приращение**, чтобы отключить автоматическое приращение (поле должно быть черного цвета). Если автоматическое приращение включено, то номер, связанный с именем файла, автоматически увеличится. Приращение нужно для сохранения множества изображений, чтобы не вводить вручную имена файлов.

17 Нажмите программную кнопку **Нажмите для сохранения**.

В запоминающем устройстве USB должно сохраниться такое же изображение, как на **Рис. 18**. Имя файла — test.png. Убедиться в наличии файла можно, если открыть его или вставить в документ Microsoft-Word. Теперь сохраним конфигурацию настроек осциллографа.

18 На лицевой панели нажмите клавишу **[Save/Recall] Сохранить/восстановить**.

19 Нажмите программную кнопку **Сохранить**, затем **Формат**.

20 С помощью ручки **ввода** выберите **Настройка (*.scr)**.

21 Нажмите программную кнопку **Сохранить в** (или **Нажать для перехода** либо **Место**).

22 С помощью ручки **ввода** перейдите к **\usb**, затем нажмите ручку **ввода**.

23 Нажмите программную кнопку **Имя файла**. Как можно видеть, ранее введенное имя файла стало именем по умолчанию. Так как формат файла настройки имеет другое расширение, то можно использовать это же имя файла.

24 Нажмите программную кнопку **Нажмите для сохранения**.

Сейчас в запоминающем устройстве USB должен храниться файл test.scr с текущей конфигурацией настроек осциллографа. Его мы откроем позже. Обратите внимание, что можно сохранить настройки в один из регистров внутренней флэш-памяти. Однако содержимое регистров может быть перезаписано другим пользователем. Поэтому студентам рекомендуется при работе на осциллографе общего пользования сохранять настройки и сигналы на персональное запоминающее устройство. Теперь сохраним файл данных контрольной формы сигнала.

25 На лицевой панели нажмите клавишу **[Save/Recall] Сохранить/восстановить**.

26 Нажмите программную кнопку **Сохранить**, затем **Формат**.

27 С помощью ручки **ввода** выберите **Файл данных контрольной формы сигнала (*.h5)**.

28 Нажмите программную кнопку **Сохранить в** (или **Нажать для перехода**).

29 С помощью ручки **ввода** перейдите к **\usb**, затем нажмите ручку **ввода**.

30 Нажмите программную кнопку **Имя файла**. Изменять имя файла не нужно, так как расширение файла уникально (test.h5).

31 Нажмите программную кнопку **Нажмите для сохранения**.

Обратите внимание, что ранее сохраненный тип файла .png был точечным снимком дисплея осциллографа. Файлы этого типа невозможно открыть на осциллографе, как и выполнить измерения данных, сохраненных в таком файле. Этот тип вместе с .bmp используется главным образом для документации, например, в качестве приложения к отчетам по лабораторной работе. В файле данных Reference Waveform (Контрольная форма сигнала) (.h5), который только что сохранен, хранятся данные в виде пар напряжение-время. Файл этого типа можно открыть в осциллографе для последующего анализа. Его можно открыть во многих приложениях ПК для более глубокого анализа в автономном режиме.

Так как конфигурация настроек осциллографа и сигнал (4 цикла синусоидальной кривой) уже сохранены, то давайте откроем эти файлы. Но сначала загрузим настройки по умолчанию, чтобы стереть текущие настройку и кривую на экране.

- 32 Нажмите **[Default Setup] Настройка по умолчанию** и отсоедините пробник канала 1 от контакта “Demo” (Демонстрация).
- 33 Нажмите **[Save/Recall] Сохранить/восстановить**.
- 34 Нажмите программную кнопку **Вызов**, затем следующую программную кнопку **Вызов**.
- 35 С помощью ручки **ввода** выберите **Настройка** в качестве типа открываемого файла.
- 36 Нажмите программную кнопку **Место** (или **Нажать для перехода** либо **Загрузить из**), затем с помощью ручки **ввода** выберите **тест**.
- 37 Нажмите программную кнопку **Нажать для восстановления** или ручку **ввода**.

В осциллографе восстановлены прежние настройки. Однако состояние обучающих сигналов НЕ сохранено в осциллографе. В данный момент на экране отображается только сигнал базового уровня (0,0 В), так как на входах пробников сигналы отсутствуют. Теперь откроем сигнал, который был ранее сохранен.

- 38 Нажмите программную кнопку **Вызов**, затем с помощью ручки **ввода** выберите **Данные контрольной формы сигнала (*.h5)**.
- 39 Нажмите программную кнопку **Загрузить из** (или **Нажать для перехода** либо **Место**), затем с помощью ручки **ввода** выберите **тест**.
- 40 Нажмите программную кнопку **Нажать для восстановления** или ручку **ввода**.

Теперь при конфигурации предыдущих настроек на экране должна отображаться сохраненная синусоидальная волна (вместе с текущим сигналом базового уровня 0,0 В) (см. **Рис. 19**). Теперь можно изменить настройку и продолжить измерения сохраненной кривой. Запоминающее устройство USB можно извлечь сразу после сохранения/вызова данных.

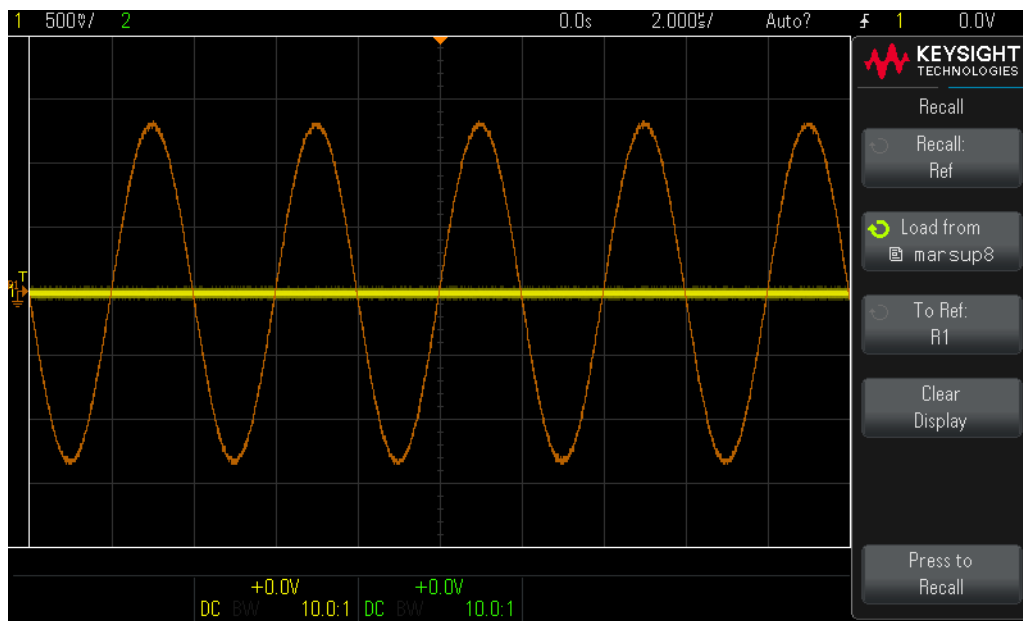


Рис. 19 Вид на экране после вызова конфигурации настроек осциллографа и сигнала

Лабораторная работа № 5. Компенсация пассивных пробников 10:1

После выполнения первых четырех лабораторных работ данного руководства по обучению работы с осциллографом вы знаете как проводить основные измерения напряжения и времени. Теперь мы снова вернемся к ним. В разделе **Начало работы** руководства кратко рассматривались измерения и приводилась электрическая схема входов в сочетании со входами пассивного пробника 10:1 и осциллографа. На **Рис. 20** снова показана электрическая модель пробника и осциллографа.

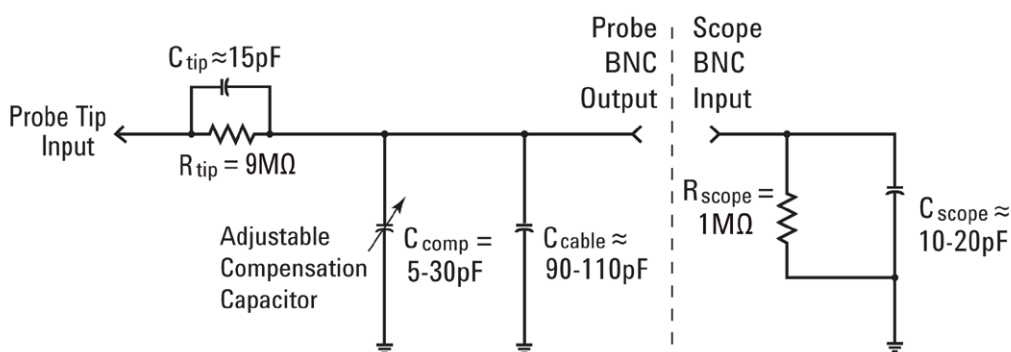


Рис. 20 Упрощенная схема с пассивным пробником 10:1, подключенным к осциллографу с входным сопротивлением $1\text{ M}\Omega$

В ней не учитывались емкостные компоненты, а рассматривались только резистивные. Было определено, что сочетание резистора наконечника пробника $9\text{ M}\Omega$ с входным сопротивлением осциллографа $1\text{ M}\Omega$ создает отношение делителя напряжения “10-к-1”. При низких частотах или постоянном токе игнорирование емкостных элементов допустимо. Но для измерения динамических сигналов (а это основное назначение осциллографов) их уже необходимо учитывать в электрической модели.

Паразитные емкости являются неотъемлемой частью входов пробников и осциллографа. К ним относятся емкость кабеля пробника ($C_{кабеля}$) и емкость входа осциллографа ($C_{осциллографа}$). Термин “внутренний/паразитный” означает, что эти элементы не заложены в конструкцию прибора, однако тем не менее в ней присутствуют и их необходимо учитывать. Значение внутренней/паразитной емкости индивидуально для каждого осциллографа и пробника. Без дополнительных встроенных емкостных компонентов, предназначенных для компенсации внутренних емкостных элементов, сопротивление системы при динамических сигналах (не постоянный ток) может привести к изменению общего динамического затухания системы измерения от желаемого отношения 10:1. Целью дополнительного/предусмотренного конденсатора наконечника пробника ($C_{наконечника}$) и регулируемого компенсационного конденсатора ($C_{комп}$) является установка затухания емкостного сопротивления, которое соответствует

резистивному затуханию 10:1. Когда компенсационный конденсатор отрегулирован правильно, это также гарантирует, что постоянная времени емкости наконечника пробника, параллельная резистору $9\text{ M}\Omega$, соответствует постоянной времени внутренней и компенсационной емкостей, параллельных входному резистору осциллографа $1\text{ M}\Omega$.

Не вдаваясь в теоретические основы, просто давайте подключимся к источнику сигнала и понаблюдаем эффект от недостаточной, избыточной и правильной компенсации. Сначала подключите пробник канала 1 к другому контакту (отличному от того, что использовался в предыдущих лабораторных работах).

- 1 Подключите пробник к контакту с подписью **[Probe Com p] Компенсация пробника**. Он имеет такую же конструкцию, что и контакт с подписью **[Demo] Демонстрация**.
- 2 На лицевой панели осциллографа нажмите клавишу **[Default Setup] Настройка по умолчанию**.
- 3 Задайте для канала 1 значение **1,0 В/дел**.
- 4 Установите на канале 1 смещение/положение **0,0 В** (значение по умолчанию).
- 5 Чтобы приблизительно установить уровень запуска на канале 1 на **50 %**, нажмите ручку уровня запуска.
- 6 Установите для временной развертки осциллографа значение **200,0 мкс/дел**.

Если пробники правильно компенсированы, то на дисплее осциллографа отобразится прямоугольная волна с частотой 1 кГц и плоской характеристикой, как на **Рис. 21**. Теперь выполним компенсацию пробника.

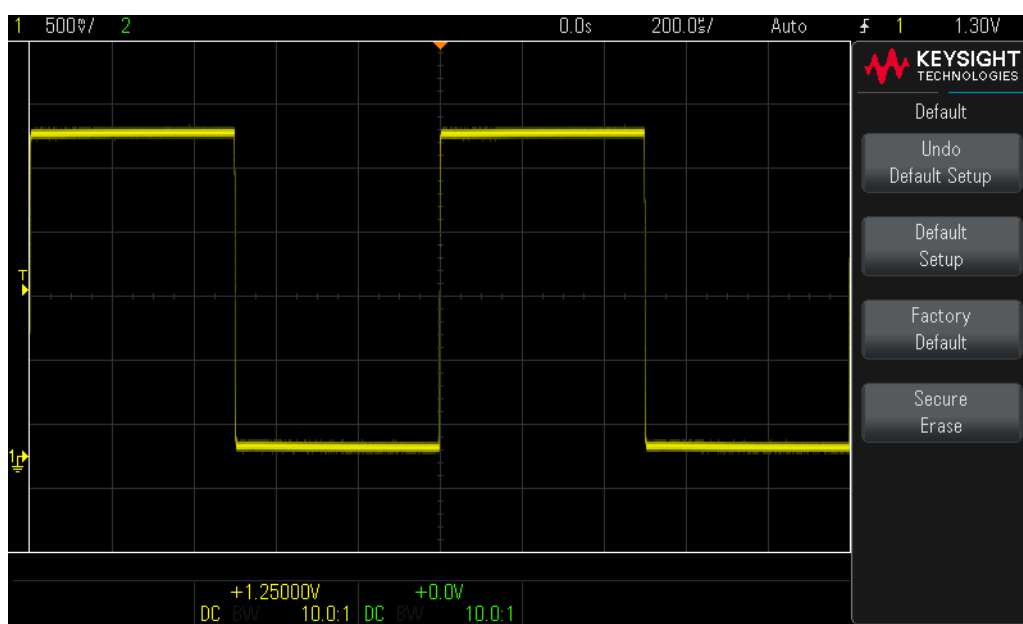


Рис. 21 Использование сигнала компенсации пробника 1 кГц для компенсации пассивных пробников 10:1

- 7 С помощью тонкой отвертки настройте конденсатор переменной емкости на корпусе пробника. Обратите внимание, что эта настройка иногда производится рядом с местом подключения BNC на каждом пробнике.

На Рис. 22 показан пример избыточной компенсации пробника канала 1 (желтая кривая) и недостаточной компенсации пробника канала 2 (зеленая кривая). Если кривая на экране не идеальной прямоугольной формы, то настройте компенсацию пробников, так, чтобы кривые совпадали с кривыми на Рис. 21.

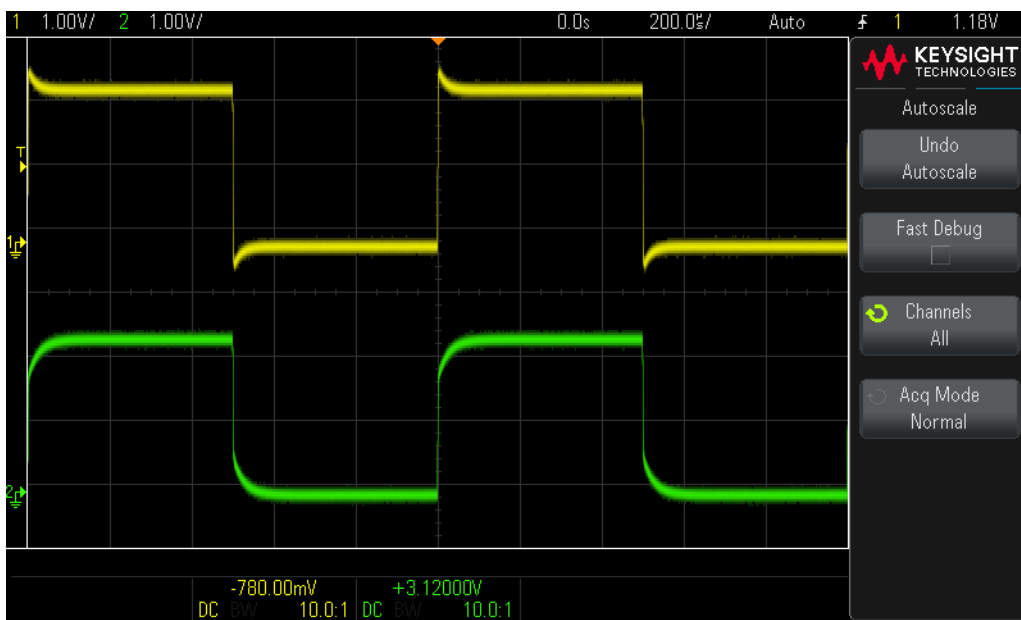


Рис. 22 Неправильная компенсация пробников

Настройка компенсации пробников проводится один раз после подключения к осциллографу и в дальнейшем выполнять ее не требуется.

На этом практическая часть этой лабораторной работы завершена. При недостатке времени и необходимости выполнить последнюю лабораторную работу в этом разделе перейдите к лабораторной работе № 6. Оставшуюся часть этой работы прочитаете позже.

Определение правильного значения компенсации емкости

При желании можно вычислить значение емкости компенсации ($C_{\text{комп}}$), которая необходима для правильной компенсации. Расчет производится на основе следующих допущений:

$$R_{\text{наконечника}} = 9 \text{ M}\Omega$$

$$R_{\text{осциллографа}} = 1 \text{ M}\Omega$$

$$C_{\text{осциллографа}} = 15 \text{ пФ}$$

$$C_{\text{кабеля}} = 100 \text{ пФ}$$

$$C_{\text{наконечника}} = 15 \text{ пФ}$$

$$C_{\text{парал}} = C_{\text{осциллографа}} + C_{\text{кабеля}} + C_{\text{комп}}$$

$$C_{\text{комп}} = ?$$

Проще всего вычислить значение емкости компенсации ($C_{\text{комп}}$), если приравнять постоянную времени ($1/RC$) параллельного соединения $R_{\text{наконечника}}$ и $C_{\text{наконечника}}$ к постоянной времени параллельного соединения $R_{\text{осциллографа}}$ и $C_{\text{парал}}$:

$$\frac{1}{R_{\text{tip}} \times C_{\text{tip}}} = \frac{1}{R_{\text{scope}} \times C_{\text{parallel}}}$$

В модели пробника/осциллографа $C_{\text{парал}}$ представляет собой сумму трех емкостных элементов.

Другой способ расчета заключается в приравнивании емкостного сопротивления $C_{\text{парал}}$, умноженного на 9, к емкостному сопротивлению $C_{\text{наконечника}}$. Таким образом, коэффициент затухания, создаваемый емкостными сопротивлениями, будет равен коэффициенту затухания, создаваемому исключительно резистивной сетью (10:1):

$$\frac{1}{2\pi f C_{\text{tip}}} = 9 \times \frac{1}{2\pi f C_{\text{parallel}}}$$

$$C_{\text{комп}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Нагрузка пробников

Кроме правильной компенсации пассивных пробников 10:1, для обеспечения наибольшей точности измерений, проводимых с помощью осциллографа, необходимо также учитывать и нагрузку пробников. Окажет ли подключение пробника и осциллографа к тестируемому прибору (DUT) влияние на цепь? При подключении любого прибора к цепи этот прибор становится частью тестируемого устройства и может создавать нагрузку или в некоторой степени изменять сигналы. Если использовать заданные значения сопротивлений и емкости, приведенные выше (и значение $C_{\text{комп}}$, которое мы определили), то можно представить воздействие нагрузки от пробника и осциллографа в виде параллельного соединения сопротивления и конденсатора, как показано на **Рис. 23**.

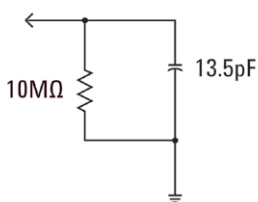


Рис. 23 Схема нагрузки пассивного пробника 10:1 и осциллографа

При низкой частоте сигнала или постоянном токе преобладает нагрузка с сопротивлением $10\text{ M}\Omega$, которая в большинстве случаев не создает проблем. Но что произойдет при измерении цифрового тактового сигнала 100 МГц ? 5-я гармоника цифрового тактового сигнала, которая вносит значительный вклад в форму сигнала, составляет 500 МГц . Теперь определим емкостное сопротивление, создаваемое конденсатором емкостью $13,5\text{ пФ}$, в схеме нагрузки на **Рис. 23**:

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi \times 500 \times 10^6 \times 13,5 \times 10^{-12}} = 23,6\Omega$$

Несмотря на то, что $13,5\text{ пФ}$ — это немного, при высоких частотах этой емкостью нагрузки уже нельзя пренебрегать. Для сигналов с высокими частотами, как в нашем случае, на большинстве осциллографов предусмотрены средства активных измерений, у которых входная емкость значительно ниже (меньше пФ). Однако активные пробники стоят гораздо дороже обычного пассивного 10:1.

Не забывайте, что модели пробник + осциллограф в этой лабораторной работе сильно упрощены. В более точные модели желательно включить еще и индуктивные элементы. Электропроводка, в особенности кабель заземления, является индуктивным элементом, особенно при высоких частотах.

Лабораторная работа № 6. Использование встроенного генератора функций WaveGen

Для проведения измерений в электротехнических/физических лабораториях по изучению цепей, помимо осциллографов, используется много другого контрольного оборудования, например источники питания, цифровые мультиметры и генераторы функций. Генераторы функций могут создавать широкий спектр сигналов разных типов и форм, которые используются в качестве динамических входных сигналов при проектировании схем и проведении экспериментов. В осциллографы Keysight InfiniiVision серии 1000 X встроен дополнительный генератор функций под названием WaveGen. Для выполнения этой короткой лабораторной работы требуется использовать модель “G” этого осциллографа. Если неизвестно, есть ли генератор функций в используемом осциллографе, просто посмотрите, есть ли порт BNC “Gen Out” (Выход генератора) слева от входов канала 1 и канала 2. Если такового нет, то используемый осциллограф не имеет встроенного генератора функций. Если есть, можно выполнить эту короткую лабораторную работу, чтобы узнать, как использовать генератор функций общего назначения.

- 1 Отключите все пробники от осциллографа.
- 2 Подключите коаксиальный кабель BNC 50 Ω к выходу генератора (рядом с выключателем питания) и к входу BNC канала 1.
- 3 Нажмите кнопку **[Default Setup] Настройка по умолчанию**.
- 4 Необходимо вручную задать для канала 1 коэффициент затухания пробника 1:1. На лицевой панели нажмите клавишу **[1]**, затем нажмите программную кнопку **Пробник**. Нажмите новую программную кнопку **Пробник**, затем поверните ручку **ввода**, чтобы установить коэффициент затухания **1.00:1** (1,00:1).
- 5 На лицевой панели нажмите кнопку **[WaveGen] Генератор** (справа от ручки смещения канала 2).
- 6 Нажмите программную кнопку **Параметры**, затем **Настройки генер. сигналов по умолчанию**.

Обратите внимание, что кнопка **[Default Setup] Настройка по умолчанию** осциллографа НЕ оказывает влияния на настройки генератора. Поэтому, чтобы убедиться в том, что мы все сделали правильно, необходимо вернуть настройки генератора по умолчанию.

- 7 На лицевой панели снова нажмите кнопку **[WaveGen] Генератор**.
- 8 Установите значение настройки В/дел канала 1 **100 мВ/дел**.
- 9 Установите временную развертку осциллографа **100,0 мкс/дел** (значение по умолчанию).

Теперь на экране осциллографа должен отображаться один цикл синусоидальной волны, как на **Рис. 24**. Синусоидальная волна частотой 1,000 кГц и полной амплитудой 500 мВ — это сигнал генератора по умолчанию. Выполним некоторые изменения в сигнале.

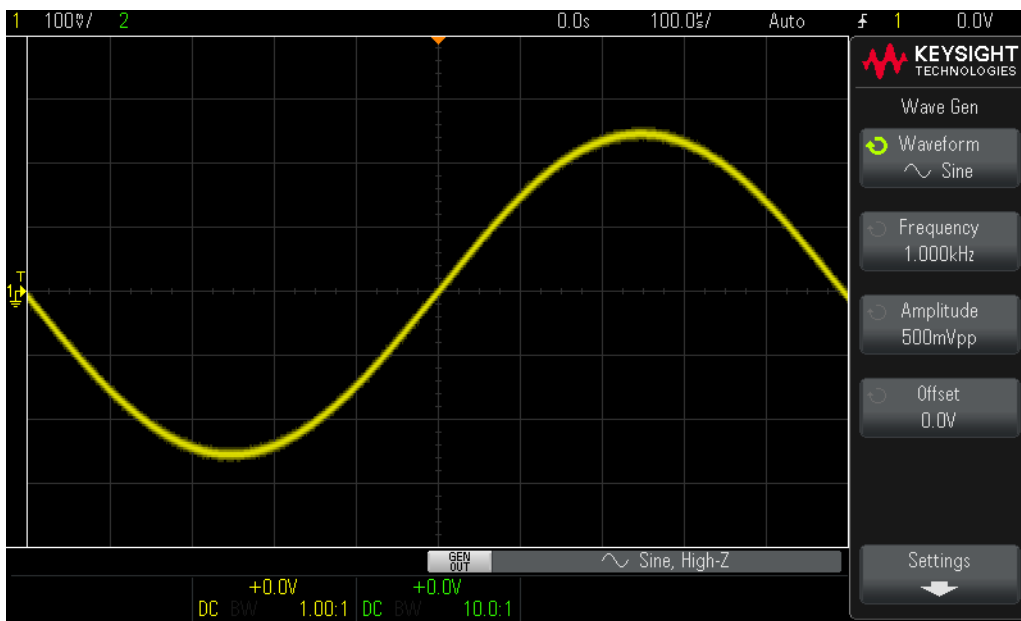


Рис. 24 Использование встроенного в осциллограф генератора функций WaveGen

- 10 Нажмите программную кнопку **Частота**, затем поверните ручку **ввода** для увеличения или уменьшения частоты. Обратите внимание, что частота не может превышать 20,00 МГц.
- 11 Нажмите программную кнопку **Амплитуда**, затем поверните ручку **ввода** для изменения амплитуды сигнала.
- 12 Нажмите программную кнопку **Смещение**, затем поверните ручку **ввода** для изменения смещения сигнала.
- 13 Нажмите программную кнопку **Сигнал**, затем поверните ручку **ввода**, чтобы выбрать формы волн.

Если выбрать форму **Прямоугольная**, то можно настроить **Рабочий цикл**. Если выбрать форму **Пульс**, то можно настроить его длительность. Обратите внимание, что не обязательно подключать выход генератора напрямую к осциллографу. Можно его подключить к входу цепей. В этом случае можно использовать осциллограф с пробниками для отслеживания сигналов на входе и выходе цепей. На этом все!

3 Лабораторные работы по дополнительным измерениям с помощью осциллографа

Лабораторная работа № 7. Запуск цифровой серии с помощью задержки
запуска / 48

Лабораторная работа № 8. Синхронизация с редким событием, его регистрация и
анализ / 52

Лабораторная работа № 9. Регистрация одиночного события / 56

Лабораторная работа № 10. Выполнение автоматических параметрических
измерений цифровых сигналов / 59

Лабораторная работа № 11. Использование временной развертки осциллографа с
масштабированием для выполнения стробированных измерений / 65

Лабораторная работа № 12. Использование осциллографа для анализа БПФ / 69

Лабораторная работа № 13. Определение пиков для устранения неполной
выборки / 71

Лабораторная работа № 14. Использование сегментированной памяти для
регистрации большого количества сигналов / 74

Лабораторная работа № 7. Запуск цифровой серии с помощью задержки запуска

Используемые на практике сигналы редко являются повторяющимися синусоидальными и прямоугольными волнами. Задание уникальных точек запуска (синхронизированной фотосъемки) для сложных сигналов иногда требует задержки запуска. В этой лабораторной работе вы познакомитесь с функцией задержки запуска, которая используется для запуска по серии цифровых импульсов.

- 1 Подключите первый пробник осциллографа к входу BNC канала 1 и выходному контакту с подписью “Demo” (Демонстрация). Подключите зажим заземления пробника к центральному контакту (заземлению).
- 2 На лицевой панели осциллографа нажмите клавишу **[Default Setup] Настройка по умолчанию**.
- 3 Нажмите кнопку **[Help] Справка**, затем нажмите программную кнопку **Обуч. сигналы**.
- 4 С помощью ручки **ввода** выберите сигнал **Цифровая серия**, затем нажмите программную кнопку **Вывод** для его включения.
- 5 Установите значение настройки В/дел канала 1 **1,00 В/дел**.
- 6 Установите для смещения/положения канала 1 значение около **+1,7 В**, чтобы кривая этого сигнала находилась по центру дисплея осциллографа.
- 7 Чтобы автоматически приблизительно установить уровень запуска около **50 %**, нажмите ручку уровня запуска.
- 8 Установите для временной развертки осциллографа значение **500,00 мкс/дел**.

Вид на экране осциллографа должен соответствовать **Рис. 25**. Хотя может создаться впечатление, что серии цифровых импульсов не синхронизированы, на самом деле осциллограф производит запуск по случайным пересечениям передних фронтов этого сложного потока цифровых данных, который и является серией импульсов. К сожалению, увидеть активность серий в данный момент нельзя, так как осциллограф еще не настроен на установку одиночной точки запуска для этого сложного сигнала. Теперь остановим повторяющиеся изображения, чтобы отобразилось одиночное изображение, серий и выполним несколько измерений. Далее мы их используем для ввода времени задержки запуска, которая предназначена для синхронизации запуска по первому импульсу каждой серии.

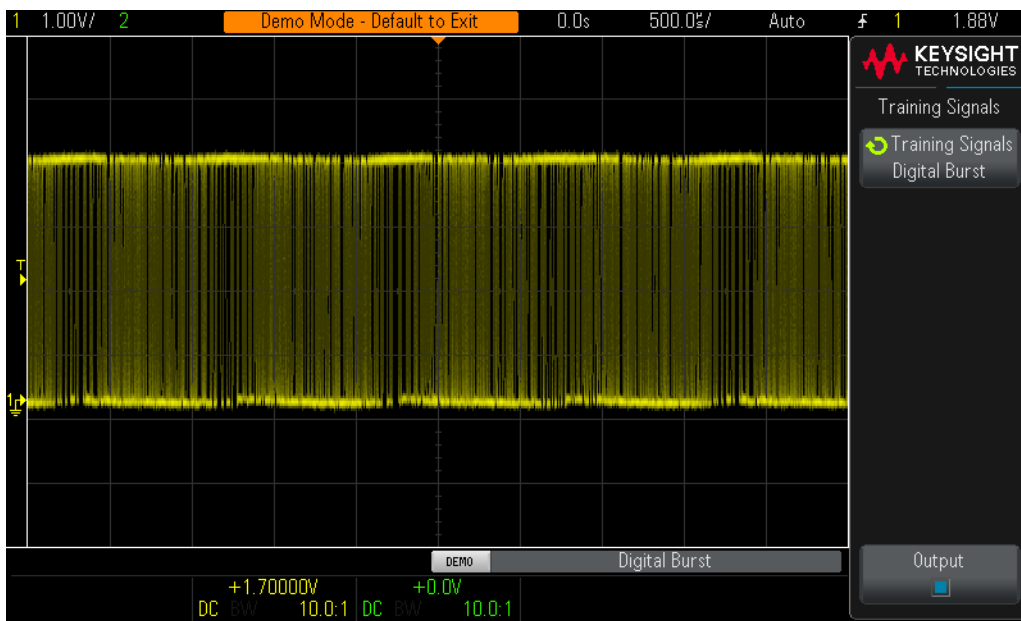


Рис. 25 Вывод серии импульсов при настройке запуска осциллографа по умолчанию

- 9 Чтобы остановить повторяющиеся изображения, на лицевой панели нажмите кнопку **[Run/Stop] Пуск/Стоп**.

После остановки можно видеть активность цифровой серии, как показано на **Рис. 26**. Циклически отображается серия отрицательных импульсов с последующим коротким запаздыванием сигнала (высокого уровня). Если несколько раз нажать кнопку **[Single] Однократный запуск**, то можно видеть, что событие запуска (тот передний фронт, что ближе всего к центру экрана) для каждого изображения почти всегда представляет собой импульс в серии, непохожий на другие.

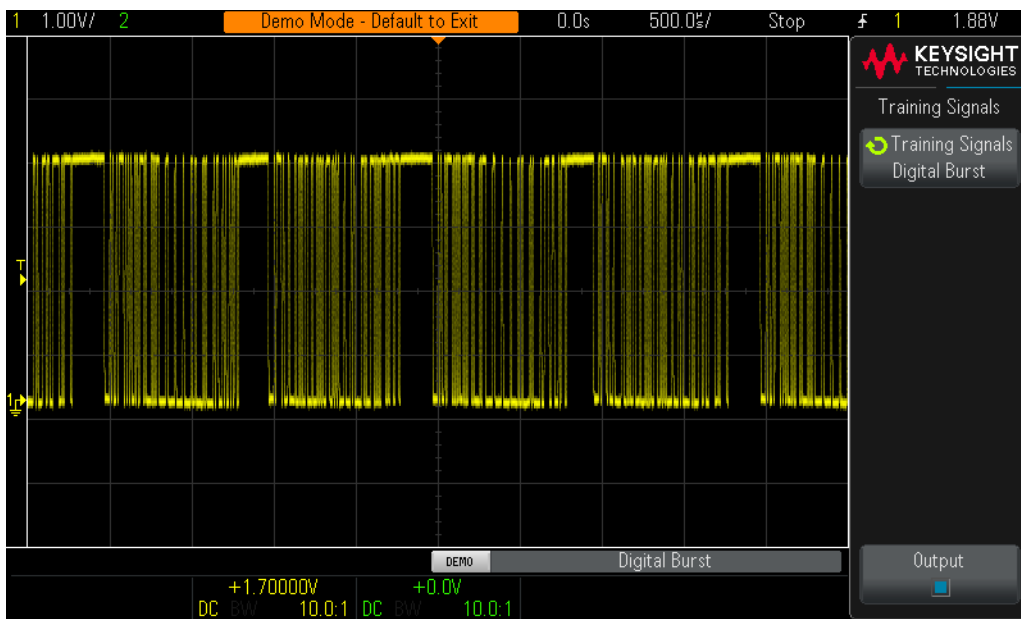


Рис. 26 Случайный запуск по фронту для входного сигнала цифровой серии

Используя сведения из лабораторной работы № 1, определите (например, с помощью курсоров времени X1 и X2) длительность одной из серии импульсов и интервал между сериями. Длительность каждой серии должна составить около 840 мкс, интервал — около 1 мкс.

При условии запуска осциллографа по умолчанию прибор запускается по любому случайному фронту этого сигнала. Иными словами, иногда осциллограф синхронизирован с 1-м фронтом серии, иногда с 11-м, иногда с 5-м и т. д. Идеальной настройкой для точки синхронизации будет запуск осциллографа по первому фронту каждой серии, а не случайным образом. Это можно сделать с помощью функции задержка запуска.

Благодаря ей осциллограф всегда активировать запуск при запаздывании сигнала между каждой серией импульсов. Т. е. осциллограф запускается по следующему переднему фронту после активации, который и является 1-ым фронтом каждой серии. Оптимальным временем задержки для достижения такого эффекта будет интервал от 840 (длительность серии) до 1 мкс (интервал между сериями). Для большей ясности давайте выполним указанные ниже действия и посмотрим на результат.

- 10 Чтобы включить повторяющиеся изображения, на лицевой панели нажмите кнопку **[Run/Stop] Пуск/Стоп**.
- 11 Нажмите кнопку **[Trigger] Триггер**, находящуюся в секции “Триггер” на лицевой панели.
- 12 Нажмите программную кнопку **Задержка**, затем поверните ручку **ввода** по часовой стрелке до значения примерно **920,00 мкс**.

На экране должна отображаться синхронизированная кривая, как на **Рис. 27**. Запуск осциллографа происходит при 1-ом переднем фронте серии импульсов (по центру экрана), затем запуск отключается на 920,00 мкс (время задержки). Во время задержки осциллограф не реагирует на 2-е, 3-е, 4-е и т. д. пересечения, активирует запуск по окончании серии и ждет истечения времени запаздывания сигнала. Следующее событие запуска произойдет при пересечении 1-го переднего фронта следующей серии.



Рис. 27 Использование функции задержки запуска для синхронизации с серией импульсов

Лабораторная работа № 8. Синхронизация с редким событием, его регистрация и анализ

В этой лабораторной работе вы познакомитесь с различными режимами отображения послесвечения, которые предназначены для усиления редкой импульсной помехи. Кроме того, вы познакомитесь с режимом запуска “Длительность импульса” для синхронизации с импульсной помехой.

- 1 Убедитесь, что пробник осциллографа все еще подключен к контакту с подписью “Demo” (Демонстрация) и входу BNC канала 1.
- 2 На лицевой панели осциллографа нажмите клавишу **[Default Setup] Настройка по умолчанию**.
- 3 Нажмите кнопку **[Help] Справка**, затем нажмите программную кнопку **Обуч. сигналы**.
- 4 С помощью ручки **ввода** выберите сигнал **Тактовый с редкой импульсной помехой**, затем нажмите программную кнопку **Вывод** для его включения.
- 5 Установите значение настройки В/дел канала 1 **500 мВ/дел**.
- 6 Установите для смещения/положения канала 1 значение **1,00 В**, чтобы кривая сигнала находилась по центру экрана.
- 7 Чтобы автоматически приблизительно установить уровень запуска на **50 %** (~1,0 В), нажмите ручку уровня запуска.
- 8 Установите для временной развертки осциллографа значение **1,000 мкс/дел**.

Теперь по центру экрана можно наблюдать редкое тусклое мерцание. Это регистрация осциллографом редкой импульсной помехи (или короткого импульса). Несмотря на то, что обычно осциллограф синхронизирован с передним фронтом тактового сигнала, иногда он реагирует на передний фронт редкой помехи. Импульсная помеха отображается в тусплом виде, так как на осциллографе ярко отображаются только часто регистрируемые сигналы. Тусклый вид свидетельствует о редкости проявления этой помехи.

- 9 Нажмите маленькую кнопку **[Intensity] Яркость** (под ручкой **ввода**), затем поверните ручку **ввода** и установите яркость **100 %**.

При 100 % все регистрируемые сигналы на осциллографе отображаются с одинаковой яркостью и редкая импульсная помеха ясно видна, как на **Рис. 28**. Регистрация редкого события, как в нашем случае, при синхронизации с пересечением всех фронтов (тип запуска по умолчанию) возможна на осциллографе с очень быстрой скоростью обновления сигнала (быстрая фотосъемка). Чтобы лучше изучить эту помеху, познакомимся с особыми режимами отображения осциллографа.

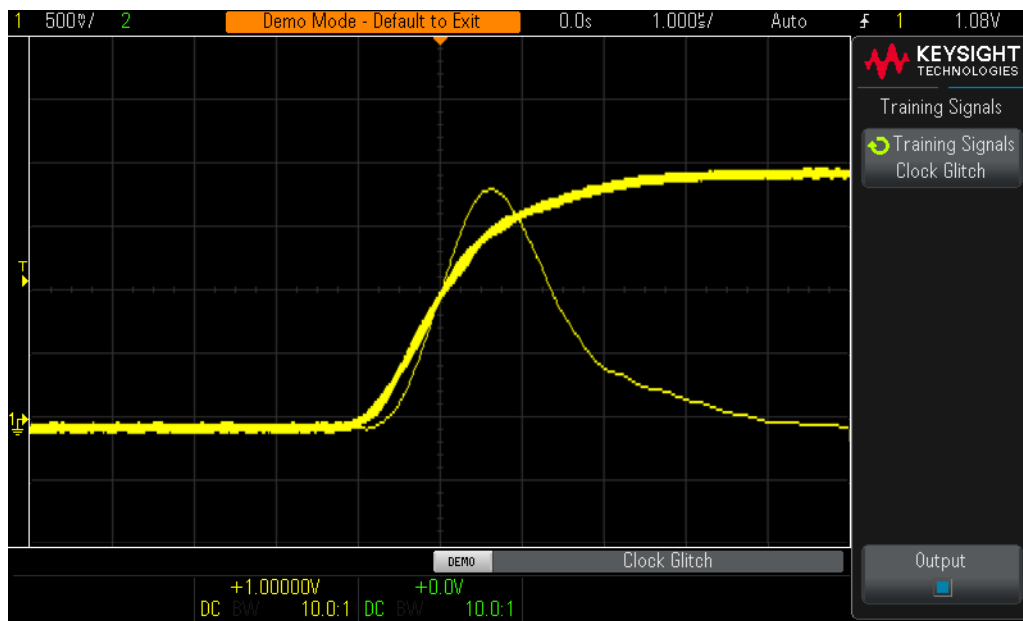


Рис. 28 Регистрация редкой импульсной помехи осциллографом с быстрой скоростью обновления

10 На лицевой панели нажмите клавишу **[Display] Отображение**.

11 Нажмите программную кнопку **Послесвечение**, затем с помощью ручки ввода выберите **Постоянное послесвечение**.

Если постоянное послесвечение включено, то на осциллографе отображается снимок всех зарегистрированных сигналов (не может быть удален). Если оно не включено, то все зарегистрированные сигналы удаляются с экрана с частотой 60 Гц. Постоянное послесвечение особенно полезно при регистрации очень редкого события, например импульсной помехи, возникающей один раз в 2 часа. Например, можно запустить тест вечером и следующим утром проверить — появлялись ли за это время импульсные помехи. Кроме того, режим отображения "Постоянное послесвечение" полезен при регистрации и выводе на экран наихудших значений дрожания развертки и шума. Кроме этого режима, осциллограф можно перевести в режим отображения "Переменное послесвечение", в котором можно задать скорость удаления изображения на экране.

Теперь с помощью типа запуска **Длительность импульса** настроим осциллограф на одиночный запуск при редкой импульсной помехе. Но сначала прикиньте примерную длительность импульса относительно значения уровня запуска. Последнее должно составлять около +1,0 В. Длительность должна составить примерно 1,5 мкс.

12 Нажмите программную кнопку **Послесвечение** и выберите **Выкл**, чтобы отключить режим отображения послесвечения.

13 Нажмите программную кнопку **Удалить послесвечение**.

- 14 На лицевой панели нажмите кнопку **[Trigger] Триггер**.
- 15 Нажмите программную кнопку **Тип запуска**.
- 16 Нажмите программную кнопку **Запуск по фронту**, затем поверните ручку **ввода**, чтобы изменить тип запуска **Фронт** по умолчанию на **Длительность импульса**.
- 17 Нажмите программную кнопку **< 30 нс**, затем поверните ручку **ввода**, чтобы изменить длительность импульса с **< 30 нс** на **< 1,6 нс**.

Осциллограф серии 1000 X будет запускаться автоматически, а не при возникновении импульсной помехи. Это связано с тем, что она генерируется такими осциллографами слишком “редко” для автоматического режима запуска по умолчанию. В этом случае необходимо использовать режим запуска “Нормальный” (в нем осциллограф ожидает возникновения события и не выполняет автоматических и асинхронных запусков). Включите режим запуска “Нормальный” независимо от модели осциллографа Keysight InfiniiVision серии 1000 X.

- 18 На лицевой панели нажмите кнопку **[Trigger] Триггер**.
- 19 Нажмите программную кнопку **Автоматический режим**, затем с помощью ручки **ввода** выберите режим запуска **Нормальный**.

На экране должно быть стабильное изображение только короткой импульсной помехи, как на **Рис. 29**. Если включен режим запуска “Длительность импульса”, то можно определить длительность каждого отрицательного и положительного импульса, приводящего к запуску. Регулирование во времени проводится при условиях “<”, “>” и интервале “><”. Фактически точка запуска находится в конце классифицированного по времени импульса. В этом примере запуск осциллографа происходит по заднему фронту импульса длительностью ~1,5 мкс, так прибор настроен на запуск по положительным импульсам длительностью менее 1,6 мкс. Чтобы убедиться в отсутствии импульсных помех короче этого импульса в 1,5 мкс, перейдите в меню **[Trigger] Триггер** и задайте минимальное значение длительности импульса. Затем проверьте, работает ли запуск на осциллографе.

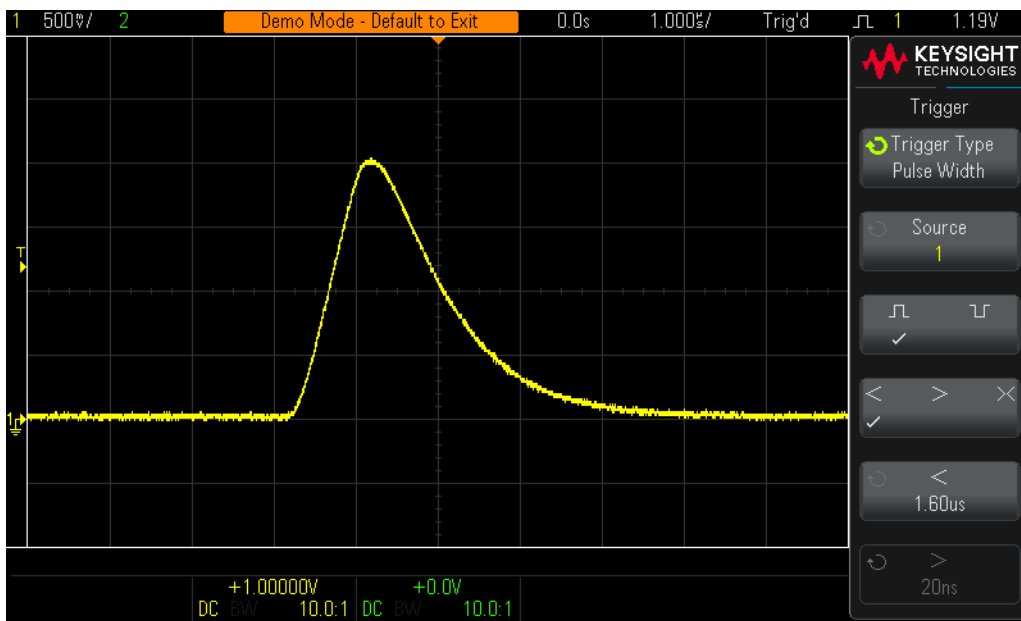


Рис. 29 Использование запуска “Длительность импульса” для определения одиночного короткого импульса.

Запуск по длительности импульса применяется не только для нежелательных импульсных помех, но и для задания одиночной точки запуска в пределах допустимой серии цифровых импульсов.

Лабораторная работа № 9. Регистрация одиночного события

Если сигнал, который нужно зарегистрировать, действительно одиночный, т. е. случается один раз, то для настройки осциллографа на его регистрацию нужно знать некоторые характеристики этого сигнала. При регистрации повторяющихся сигналов на экране можно увидеть их кривые при разных настройках, а затем изменить масштаб в осциллографе до нужного значения. При одиночном сигнале все это недоступно.

Пусть регистрируемое одиночное событие — это цифровой импульс с полной амплитудой около 2,5 В парного импульса и смещением +1,25 В. Т. е. его отклонение от основания (0,0 В) составляет примерно +2,5 В. Например, это импульс сброса системы, который возникает только при загрузке.

Правильная настройка по вертикали этого сигнала — 500 мВ/дел, при которой можно зарегистрировать колебание до 4 В парного импульса. Правильное смещение/положение для расположения кривой по центру экрана — +1,25 В, правильный уровень запуска — +1,25 В при обычном запуске по переднему фронту.

Пусть длительность одиночного события — около 500 нс. Следовательно, правильная временная развертка — 200 нс/дел. Она даст нам время захвата 2,0 мкс, которого более чем достаточно для регистрации импульса длительностью 500 нс. Теперь выполним настройку осциллографа для регистрации этого одиночного импульса.

- 1 Убедитесь, что пробник осциллографа все еще подключен к контакту с подписью “Demo” (Демонстрация) и входу BNC канала 1.
- 2 На лицевой панели осциллографа нажмите клавишу **[Default Setup] Настройка по умолчанию**.
- 3 Установите значение настройки В/дел канала 1 **500 мВ/дел**.
- 4 Установите для смещения/положения по вертикали канала 1 значение **+1,45 В**.
- 5 Установите уровень запуска **+1,45 В**.
- 6 Установите для временной развертки осциллографа значение **10,0 мкс/дел**.
- 7 На лицевой панели нажмите кнопку **[Trigger] Триггер** (рядом с ручкой уровня запуска).
- 8 Нажмите программную кнопку **Автоматический режим**, затем измените режим **Авто** на **Нормальный**.

Обратите внимание, что именно режим запуска **Нормальный** предназначен для регистрации одиночного события. В режиме запуска **Авто** осциллограф продолжит автоматически генерировать асинхронные запуски и пропустит запуск при одиночном событии. В режиме запуска **Нормальный** прибор ожидает подходящего события запуска (в нашем случае — пересечение передним фронтом +1,45 В) перед регистрацией и отображением чего-либо. На данном этапе необходимо правильно настроить осциллограф и дождаться возникновения одиночного события. Создадим это событие, выполнив указанные ниже действия.

- 9 Нажмите кнопку **[Help] Справка**, затем нажмите программную кнопку **Обуч. сигналы**.
- 10 С помощью ручки **ввода** выберите сигнал **Одиночный импульс с реверберацией**, затем нажмите программную кнопку **Вывод** для его включения. Эти действия НЕ приведут к созданию одиночного события. С их помощью задействуется выход.
- 11 НЕ нажимайте программную кнопку **Автонастройка**. Ее выбор приведет к перезаписи выполненных настроек. Функция автонастройки применяется только для настройки осциллографа на регистрацию данного одиночного обучающего сигнала. Она недоступна при настройке прибора на регистрацию произвольного одиночного сигнала, который мы пытаемся симулировать.
- 12 Чтобы сгенерировать одиночное событие, нажмите программную кнопку **Передать одиночный импульс**.

После его регистрации вид на экране осциллографа должен соответствовать виду на **Рис. 30**. После каждого нажатия программной кнопки **Передать одиночный импульс** прибор снова регистрирует сигнал. Для регистрации этого события ранее использовался режим запуска **Нормальный** из режима сбора данных **Пуск**. Теперь воспользуемся режимом сбора данных **Однократный запуск**.

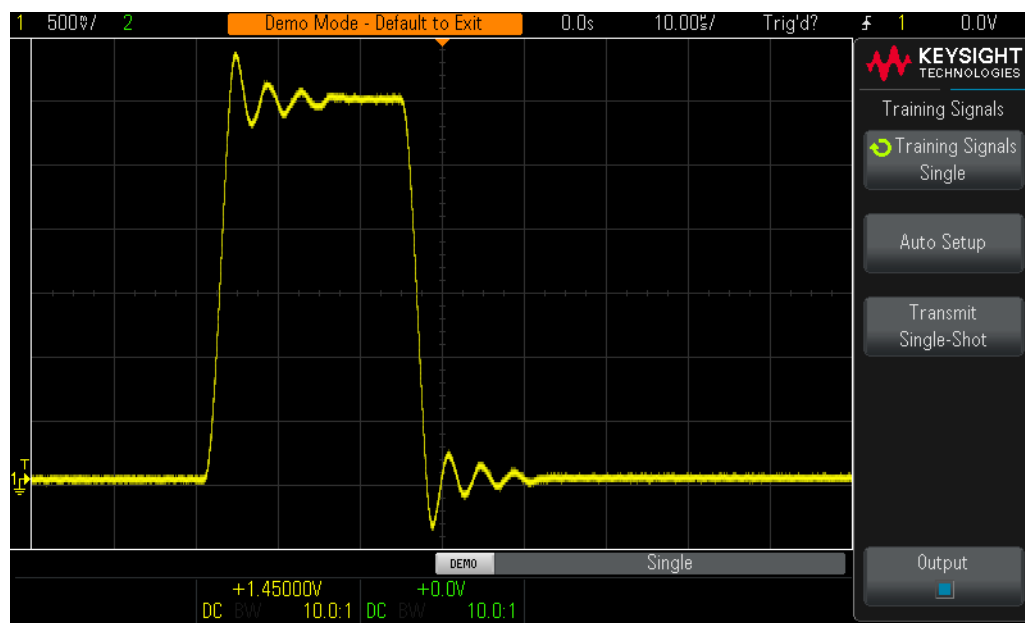


Рис. 30 Настройка осциллографа на регистрацию одиночного события.

- 13 В правом верхнем углу лицевой панели нажмите кнопку **[Single] Однократный запуск**.
- 14 Далее нажмите программную кнопку **Передать одиночный импульс**.

3 Лабораторные работы по дополнительным измерениям с помощью осциллографа

В режиме сбора данных **Однократный запуск** осциллограф регистрирует одиночное событие *только один раз*. Чтобы активировать прибор для регистрации еще одного одиночного события, снова нажмите кнопку **[Single] Однократный запуск** (перед возникновением события). Обратите внимание, что в режиме сбора данных **Однократный запуск** автоматически выбирается режим запуска **Нормальный**.

Лабораторная работа № 10. Выполнение автоматических параметрических измерений цифровых сигналов

В лабораторной работе № 1 этого руководства по обучению работе с осциллографом для студентов электротехнических и физических факультетов вы узнали, как выполнять простые измерения напряжения и времени с помощью подсчета делений и умножения на коэффициенты масштабирования, а также с помощью функции курсора. В этой лабораторной работе описывается функция автоматических параметрических измерений для выполнения этих и других измерений быстрее и точнее.

- 1 Убедитесь, что пробник осциллографа все еще подключен к контакту с подписью “Demo” (Демонстрация) и входу BNC канала 1.
- 2 На лицевой панели осциллографа нажмите клавишу **[Default Setup] Настройка по умолчанию**.
- 3 Нажмите кнопку **[Help] Справка**, затем нажмите программную кнопку **Обуч. сигналы**.
- 4 С помощью ручки **ввода** выберите сигнал **Периодический импульс с реверберацией**, затем нажмите программную кнопку **Вывод** для его включения.
- 5 Установите значение настройки В/дел канала 1 **500 мВ/дел**.
- 6 Установите для смещения/положения канала 1 значение **1,45 В**.
- 7 Чтобы автоматически приблизительно установить уровень запуска на **50 %** (~1,3 В), нажмите ручку уровня запуска.
- 8 Установите для временной развертки осциллографа значение **20,0 мкс/дел**.

Теперь на экране должен отображаться повторяющийся цифровой импульс с отклонением и реверберацией, как на **Рис. 31**.

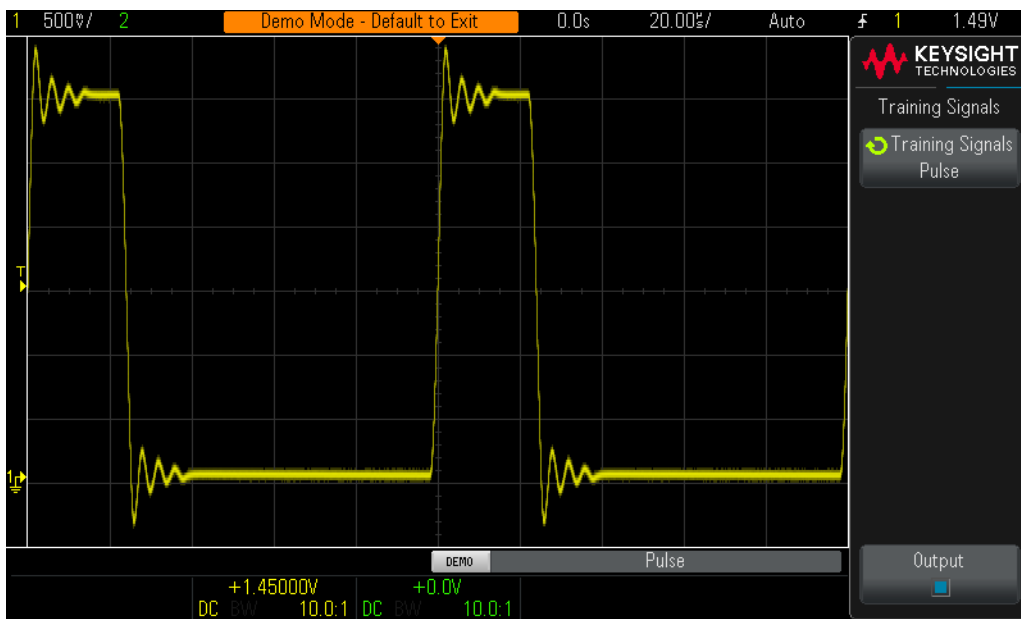


Рис. 31 Настройка осциллографа на регистрацию и отображение повторяющегося цифрового импульса с реверберацией и отклонением

9 На лицевой панели нажмите кнопку **[Meas] Измерения** (рядом с ручкой [Cursors] Курсоры).

Если заданы настройки по умолчанию (а в нашем случае это уже сделано) и нажата кнопка **[Meas] Измерения**, то осциллограф включит автоматическое измерение частоты и напряжения парного импульса. Поскольку на этом осциллографе может отображаться до четырех измерений в реальном времени, то добавим к уже заданным еще два измерения.

10 Нажмите программную кнопку **Тип**, затем крутите ручку **ввода**, пока стрелка не будет указывать на положение **Максимум**.

11 Чтобы выбрать это измерение, нажмите ручку **ввода** или нажмите программную кнопку **Добавить измерение**. Появится индикатор уровня, который обозначает место проведения этого измерения.

12 Снова поверните ручку **ввода** так, чтобы стрелка указывала на положение **Минимум**, затем нажмите ручку **ввода**.

Теперь вид на дисплее осциллографа должен соответствовать **Рис. 32**, на котором видны четыре измерения в реальном времени: частоты, напряжение парного импульса, В макс. и В мин. Теперь выполним настройку осциллографа на выполнение четырех разных измерений параметров импульса, выполнив указанные ниже действия.

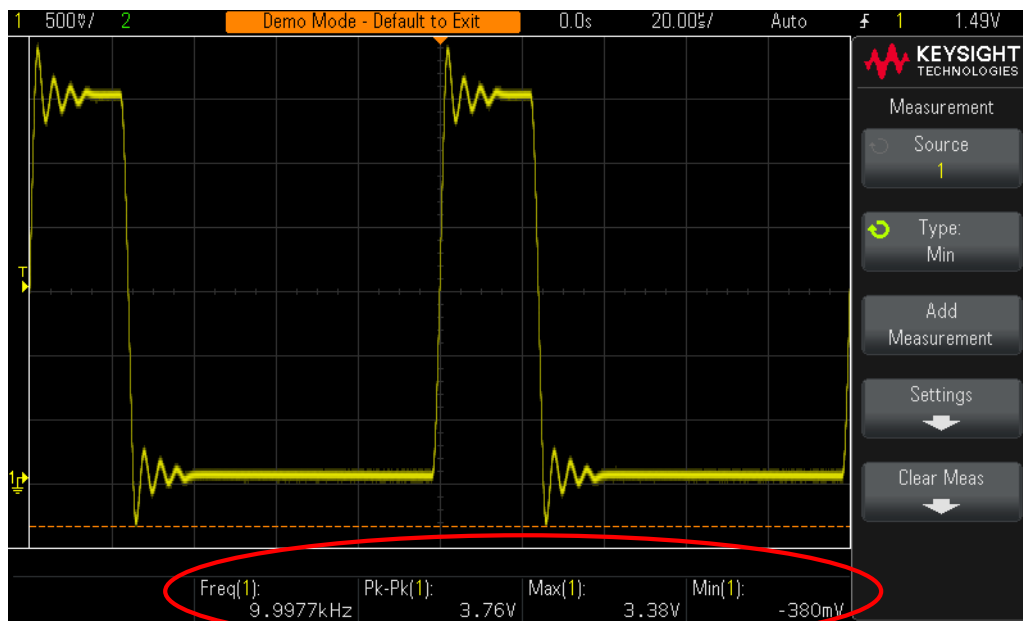


Рис. 32 На осциллографе автоматически выполняется до четырех параметрических измерений

- 13 Нажмите программную кнопку **Сброс измер**, затем **Удалить все**.
- 14 Установите для временной развертки осциллографа значение **10,0 мкс/дел**.
Расширение импульса приведет к увеличению разрешения измерений.
- 15 Выберите измерения **Верхний уровень**, **Основание**, **Время нарастания** и **Время спада**.

Изображение на дисплее осциллографа теперь должно быть похожем на то, что показано на **Рис. 33**. Если **Время спада** — измерение, которое выбрано последним, то курсоры указывают место выполнения именно этого измерения.

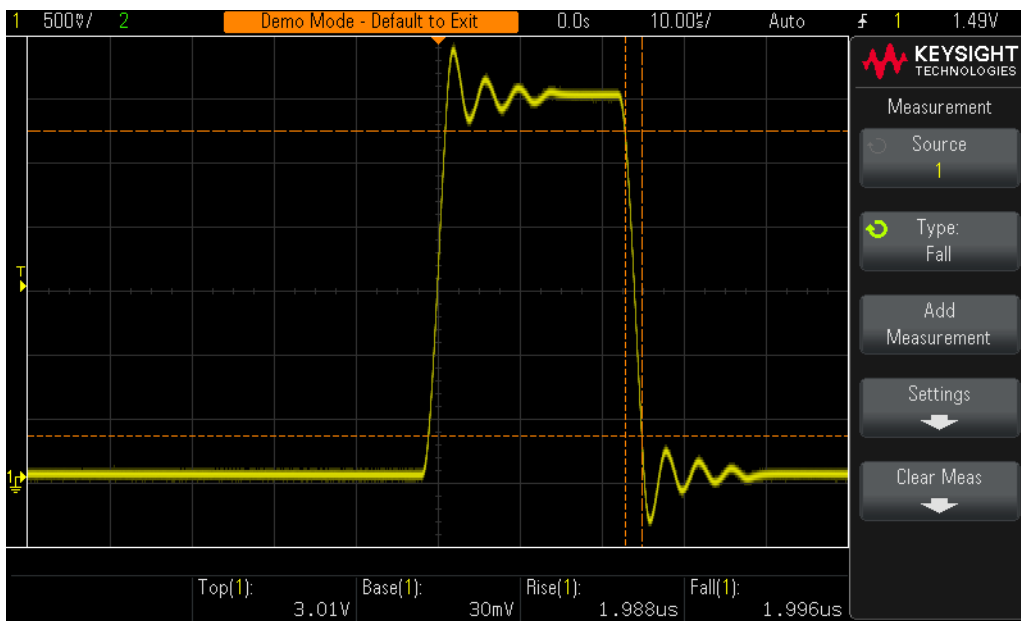


Рис. 33 Выполнение дополнительных измерений параметров цифрового импульса

Подумайте, в чем разница между верхним уровнем сигнала (V -вершина) и максимумом ($V_{\text{макс}}$), а также между основанием (V -основание) и минимумом ($V_{\text{мин}}$)?

V -вершина — это установившийся верхний уровень сигнала. Иными словами, это уровень напряжения сигнала после задания отклонения и реверберации.



V -основание — это установившийся нижний уровень сигнала. При измерениях цифрового импульса V -вершина и V -основание часто являются более важными параметрами, чем абсолютные максимальное и минимальное напряжения ($V_{\text{макс}}$ и $V_{\text{мин}}$), которые представляют собой пиковые значения отклонения.

“Время нарастания” и “Время спада” — это относительные времена перехода. Т. е. они измеряются относительно конкретных пороговых уровней напряжения. Для таких измерений пороговые уровни осциллографа по умолчанию составляют 10 % и 90 % соответственно для V -основание и V -вершина. Иными словами, V -основание — это уровень 0 %, а V -вершина — уровень 100 %. Однако во многих современных приборах с более высокими скоростями время нарастания и спада соотносятся с пороговыми уровнями соответственно в 20 % и 80 %, либо с уровнями абсолютного напряжения, например, от/до $\pm 1,0$ В. Чтобы настроить осциллограф на измерение только времени нарастания этого импульса относительно пороговых уровней 20 % и 80 %, выполните указанные ниже действия.

16 Нажмите программную кнопку **Сброс измер**, затем **Удалить все**.

17 Нажмите программную кнопку **Параметры**, затем **Пороги**.

18 Нажмите программную кнопку **Нижний**, затем с помощью ручки **ввода** установите значение **20 %**.

- 19 Нажмите программную кнопку **Верхний**, затем с помощью ручки **ввода** установите значение **80 %**.
- 20 Чтобы вернуться в предыдущее меню, на лицевой панели нажмите кнопку  (Назад) (над выключателем питания).
- 21 Снова нажмите кнопку  (Назад), чтобы перейти еще на один уровень назад.
- 22 Нажмите программную кнопку **Тип**, затем крутите универсальную ручку, пока стрелка не будет указывать на **Время нарастания**.
- 23 Теперь нажмите программную кнопку **Добавить измерение** или ручку **ввода**, чтобы добавить это измерение.

Благодаря таким пороговым уровням измерений (20 % и 80 %), заданным пользователем, измерение времени нарастания будет проходить быстрее, так как оно проводится в меньшем сегменте сигнала, как показано на **Рис. 34**. Измеренное значение должно составлять около 1,4 мкс. Если использовать пороговые уровни осциллографа 10%/90% по умолчанию, то значение должно составлять около 2 мкс.

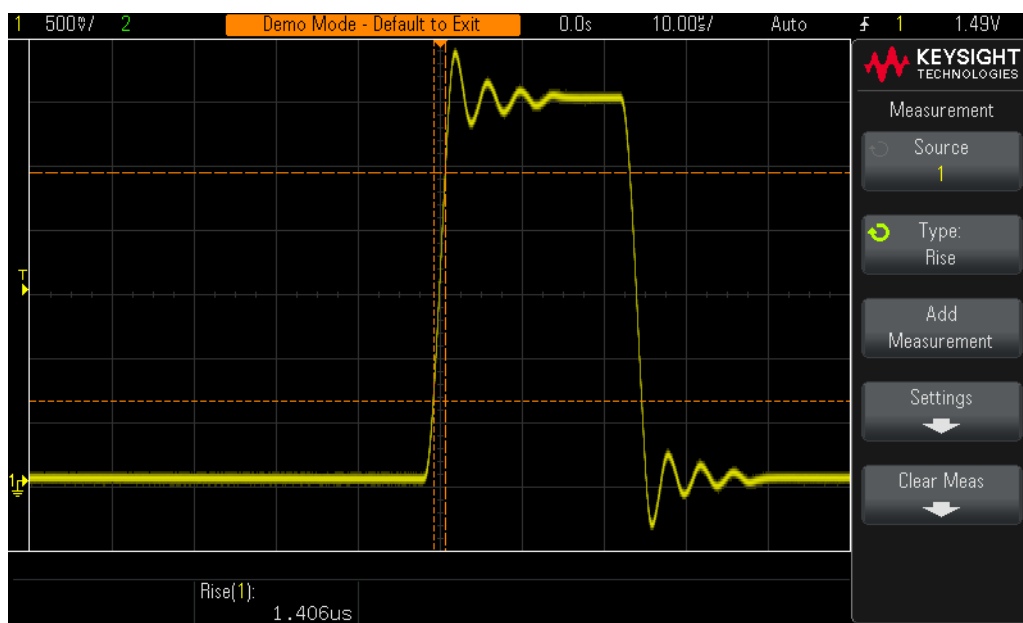


Рис. 34 Измерение времени нарастания относительно пороговых уровней 20 % и 80 %

На этапе № 14 этой лабораторной работы было сказано, что расширение сигнала приведет к увеличению разрешения и точности измерений. Установите временную развертку 50,0 мкс/дел и вы заметите уменьшение разрешения измерений.

В завершение этой лабораторной работы выполним еще одно измерение. Теперь произведем более сложные измерения этого сигнала.

- 24 Установите для временной развертки осциллографа значение **20,0 мкс/дел**.

- 25 Нажмите программную кнопку **Тип**, затем крутите ручку **ввода**, пока стрелка не будет указывать на положение **Общий снимок** (вверху списка).
- 26 Теперь нажмите программную кнопку **Добавить измерение** или ручку **ввода**, чтобы добавить этот набор измерений.

Измерение “Общий снимок” заключается в однократном определении нескольких параметров входящего сигнала (так называемый снимок) для получения всех его характеристик, как показано на **Рис. 35**. Этот набор измерений не обновляется в реальном времени и если нажать любую кнопку на лицевой панели, то их результаты исчезнут с экрана.



Рис. 35 Проведение сложного набора автоматических параметрических измерений с помощью функции “Общий снимок”

Лабораторная работа № 11. Использование временной развертки осциллографа с масштабированием для выполнения стробированных измерений

Автоматические параметрические измерения, например длительности положительных импульсов, входного сигнала с постоянным циклом (например, простая синусоидальная или прямоугольная волна) можно проводить для любого импульса (так как все они одинаковые). Но что если измеряемый входной сигнал сложный, в котором у каждого импульса уникальные параметры? В этом случае сначала необходимо задать в осциллографе одну точку запуска для сложного сигнала, затем настроить в приборе более селективные измерения, а именно определить импульс, измерение которого будет проводиться. В этой лабораторной работе вы познакомитесь с селективными или стробированными измерениями конкретных импульсов с помощью режима временной развертки с масштабированием.

- 1 Убедитесь, что пробник осциллографа все еще подключен к контакту с подписью “Demo” (Демонстрация) и входу BNC канала 1.
- 2 На лицевой панели осциллографа нажмите клавишу **[Default Setup] Настройка по умолчанию**.
- 3 Нажмите кнопку **[Help] Справка**, затем нажмите программную кнопку **Обуч. сигналы**.
- 4 С помощью ручки **ввода** выберите сигнал **Цифровая серия с редкой импульсной помехой**, затем нажмите программную кнопку **Вывод** для его включения.
- 5 Установите значение настройки В/дел канала 1 **1,0 В/дел**.
- 6 Установите для положения/смещения канала 1 значение около **2,0 В**, чтобы кривая сигнала находилась по центру экрана.
- 7 Чтобы автоматически приблизительно установить уровень запуска на **50 %** (~1,7 В), нажмите ручку уровня запуска.
- 8 Установите для временной развертки осциллографа значение **100,0 мкс/дел**.

При такой настройке на экране кривая, возможно, будет дрожать. Дрожание возникает из-за раздвоения сигнала перед серией импульсов. Если установить яркость сигнала 100 %, то дрожание станет менее заметным. Иными словами, причиной дрожания является периодический запуск осциллографа не по первому переднему фронту цифровой серии, а по более позднему. Используем функцию задержки запуска, чтобы устранить это запаздывание.

- 9 На лицевой панели нажмите кнопку **[Trigger] Триггер** (рядом с ручкой уровня запуска).
- 10 Нажмите программную кнопку **Задержка**, затем с помощью универсальной ручки установите значение задержки запуска **400,00 мкс**.

Если на осциллографе включена функция задержки запуска и установлено значение 4,0 мкс, осциллограф выполнит запуск по первому переднему фронту серии, отложит запуск на 4,0 мкс, затем повторно выполнит запуск после последнего импульса в серии. Таким образом, новый запуск произойдет по первому импульсу при следующем повторе серии. Так с помощью функции “Задержка запуска” мы установили постоянную одиночную точку запуска для сложного цифрового сигнала.

На экране должны отображаться 6 положительных импульсов разной длительности и после них редкая импульсная помеха, как показано на Рис. 36. Теперь выполним измерение “+ Длительность”.

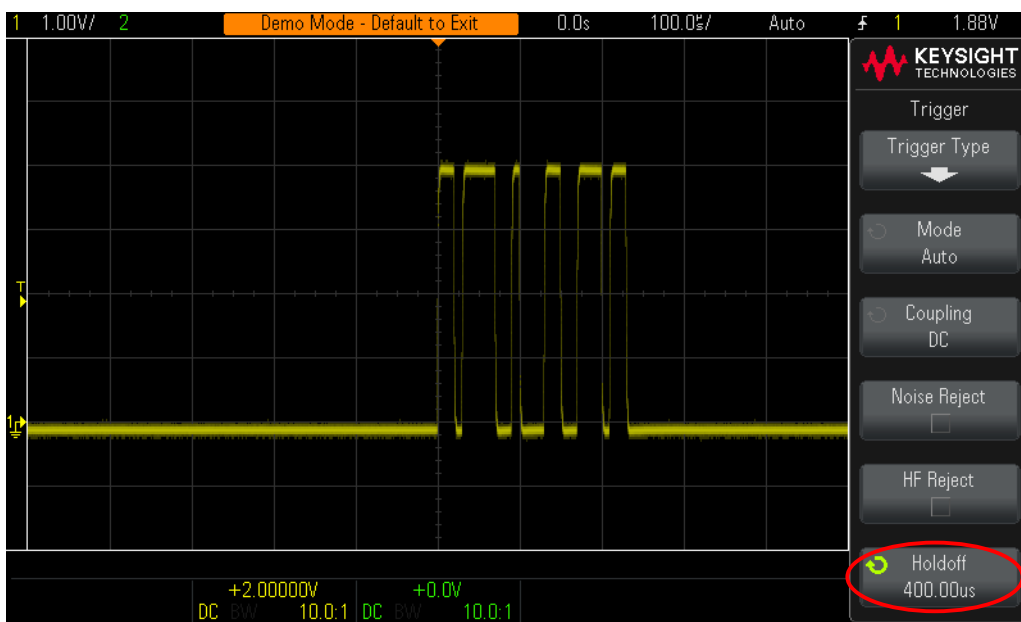


Рис. 36 Настройка осциллографа на регистрацию серии цифровых импульсов разной длительности

- 11 На лицевой панели нажмите кнопку **[Meas] Измерения** (рядом с ручкой [Cursors] Курсоры).
- 12 Нажмите программную кнопку **Сброс измер**, затем **Удалить все**.
- 13 Нажмите программную кнопку **Тип**, затем с помощью ручки **ввода** выберите измерение **+ Длительность**.
- 14 Чтобы активировать это измерение, нажмите ручку **ввода** или нажмите программную кнопку **Добавить измерение**.

Осциллограф всегда выполняет измерения того импульса, что ближе всего к центру экрана. В данном случае измеряется длительность первого положительного импульса в цифровой серии, как показано на Рис. 37. А если нужно измерить длительность второго, третьего, четвертого и т. д. импульсов?

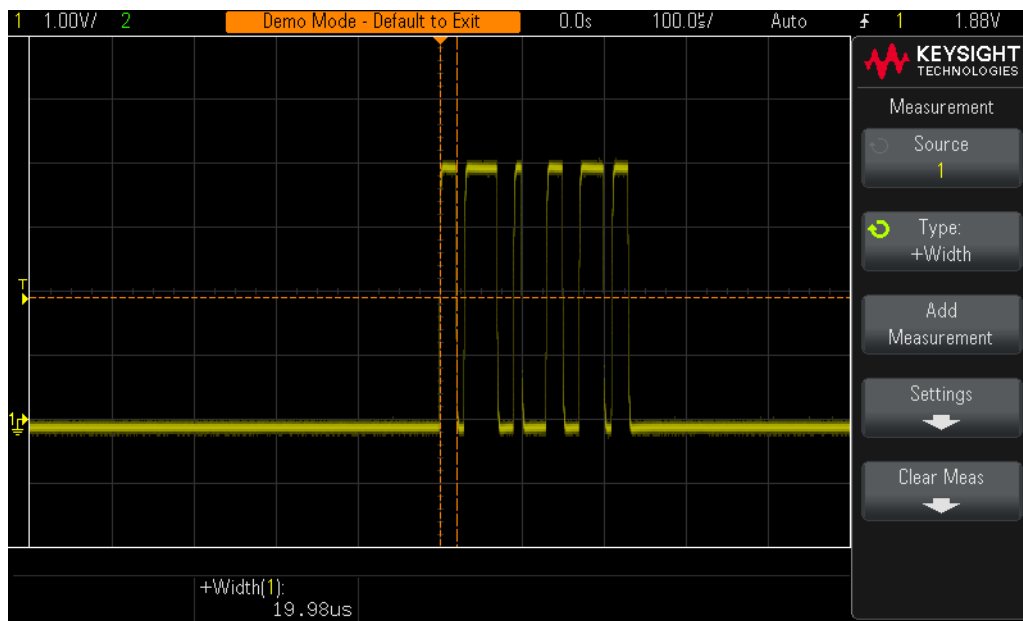



Рис. 37 Измерение длительности первого положительного импульса в серии

- 15 В области “Коеф.развертки” на лицевой панели нажмите кнопку , чтобы включить режим временной развертки с масштабированием.
- 16 С помощью большой ручки временной развертки установите масштаб **5,000 мкс/дел.**
- 17 С помощью этой же ручки установите положение по горизонтали **10,00 мкс.**

Когда временная развертка с масштабированием включена, с помощью элементов управления разверткой (с/дел и положение) изменяются настройки временной развертки с измененным (или расширенным) масштабом. Преподаватель может называть этот режим работы “режим задержки временной развертки”, как он назывался в аналоговых осциллографах старых моделей.

3 Лабораторные работы по дополнительным измерениям с помощью осциллографа



Рис. 38 Использование режима временной развертки с масштабированием для проведения стробированных измерений

Теперь в нижней части экрана осциллографа должен отображаться только первый импульс в серии в увеличенном масштабе, как показано на Рис. 38. Измерение “+ Длительность” должно проводиться только для длительности первого положительного импульса. Определите длительность этого импульса.

+ Длительность (1-й импульс) = _____

Чтобы измерить длительность 2-го импульса, выполните указанное ниже действие.

- 18** Чтобы 2-ой импульс отображался в отдельном окне, установите положение/задержку по горизонтали **50,00 мкс**.

Определите длительность 2-го импульса.

+ Длительность (2-й импульс) = _____

- 19** Таким же образом выполните измерение длительности оставшихся 4 импульсов (выводя их в отдельном окне), кроме редкой импульсной помехи.

+ Длительность (3-й импульс) = _____

+ Длительность (4-й импульс) = _____

+ Длительность (5-й импульс) = _____

+ Длительность (6-й импульс) = _____

Лабораторная работа № 12. Использование осциллографа для анализа БПФ

Кроме автоматических параметрических измерений данных сигнала осциллограф может выполнять математические операции для всего сигнала или пары сигналов. Одна из самых часто используемых математических функций осциллографа — быстрое преобразование Фурье (БПФ). БПФ будет характеризовать частотные составляющие сигнала при одновременном просмотре сигнала временной развертки. Например, если наблюдается импульсная помеха в измеряемом сигнале, можно использовать математическую функцию БПФ для определения частоты импульсной помехи относительно сигнала. Определение этой частоты позволит вернуться к схеме и определить, что явилось причиной возникновения этой помехи. Рассмотрим подробнее принцип работы БПФ.

- 1 Убедитесь, что пробник осциллографа все еще подключен к контактам с подписью “Demo” (Демонстрация) и входу BNC канала 1.
- 2 Нажмите кнопку **[Default Setup] Настройка по умолчанию**.
- 3 Нажмите кнопку **[Help] Справка**, затем нажмите программную кнопку **Обуч. сигналы**.
- 4 С помощью ручки **ввода** выберите сигнал **Тактовый с редкой импульсной помехой**, затем нажмите программную кнопку **Вывод** для его включения.
- 5 Установите значение настройки В/дел канала 1 **500 мВ/дел**.
- 6 Установите на канале 1 смещение примерно **1,00 В**, чтобы кривая сигнала находилась по центру экрана.
- 7 Чтобы приблизительно установить уровень запуска на **50 %**, нажмите ручку уровня запуска.
- 8 Установите временную развертку **1,000 мс/дел**. При такой временной развертке на экране отображается много циклов тактового сигнала, что и нужно для выполнения точной математической функции БПФ.
- 9 На лицевой панели нажмите кнопку **[FFT] БПФ**.

Вид на экране должен соответствовать **Рис. 39**. На экране осциллографа теперь отображаются сигнал временных интервалов (вольты-время) и сигнал области частот (мощность в дБ-частота). Математическая функция БПФ производит разложение сигналов до отдельных частотных составляющих синусоидальных волн. Как известно из курсов по электротехнике и физике, все электрические сигналы, в том числе цифровые, состоят из множества синусоидальных волн разных частот. Идеальный тактовый сигнал с рабочим циклом 50 % должен состоять из основной частотной составляющей синусоидальной волны (повторяющаяся частота сигнала) и нечетных гармоник (3, 5, 7-й и т. д.). Неидеальные прямоугольные волны также включают в себя четные гармоники более низких уровней. Теперь определим частоты основной и нечетных гармоник.

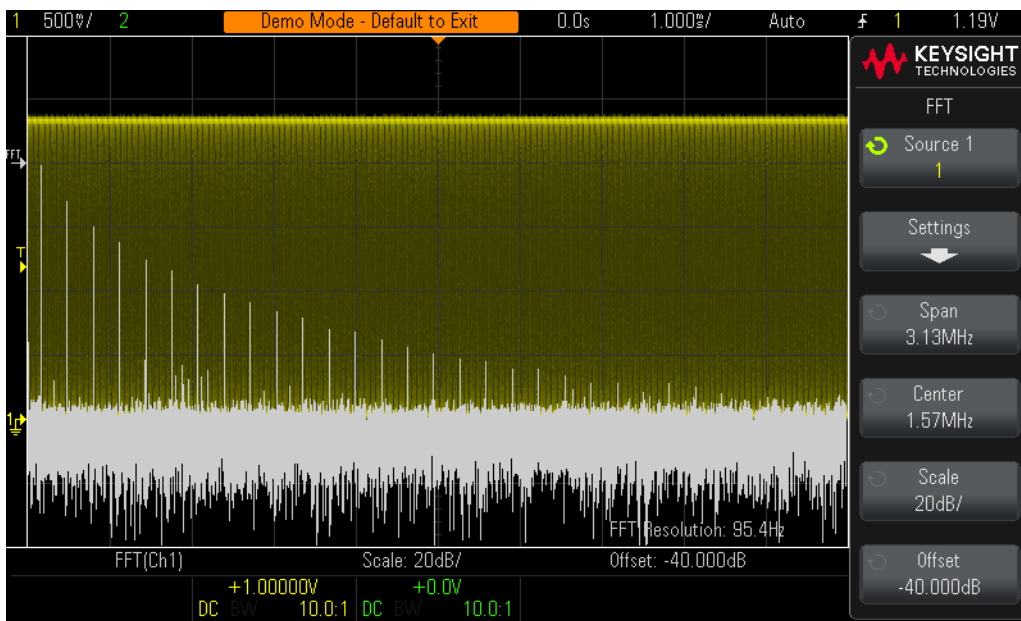


Рис. 39 Применение математической функции БПФ к повторяющемуся цифровому сигналу

- 10 На лицевой панели нажмите кнопку **[Cursors]** **Курсоры** (под ручкой “Курсоры”).
- 11 Нажмите программную кнопку **Источник**, затем поверните ручку **ввода**, чтобы изменить значение **Источник** с канала **1** на **БПФ**.
- 12 Нажмите ручку “Курсоры” и выберите курсор **X1**.
- 13 После закрытия меню “Курсоры”, поверните ручку **ввода** так, чтобы курсор X1 был наверху пика самой высокой частоты (с левой стороны дисплея).
- 14 Нажмите ручку “Курсоры” еще раз и выберите курсор **X2**.
- 15 После закрытия меню “Курсоры”, поверните ручку **ввода** так, чтобы курсор X2 был наверху 2-го пика самой высокой частоты.
- 16 Определите частоту с курсором X1 (это основная частотная составляющая (показание внизу дисплея)).

F1 = _____

- 17 Определите частоту с курсором X2 (это третья гармоника).

F3 = _____

Лабораторная работа № 13. Определение пиков для устранения неполной выборки

У всех осциллографов DSO и MSO фиксирован объем памяти для полученных данных. Этот объем представляет собой число выборок для каждого цикла сбора данных, которые может оцифровать осциллограф. Если временная развертка прибора относительно быстрая, например 20 нс/дел, то объема памяти хватает для регистрации сигнала при использовании заданной максимальной частоты дискретизации. Например, если заданная максимальная частота дискретизации составляет 2 Гвыб/с (500 пикосекунд между выборками) и временная развертка — 20 нс/дел, то для регистрации всего сигнала требуется объем памяти для получения данных 400 точек. При 20 нс/дел вся кривая на экране осциллографа занимает 200 нс (20 нс/дел x 10 горизонтальных делений). При выборке 2 Гвыб/с для сохранения всего этого промежутка времени требуется объем памяти 400 точек (200 нс/500 пикосекунд = 400).

Если временная настройка осциллографа сек/дел медленная (для регистрации более медленных сигналов в течение большего времени), то прибор может автоматически снизить частоту дискретизации, чтобы сохранить все необходимое время прохождения сигнала. Это происходит на всех осциллографах DSO и MSO. Например, нужно регистрировать относительно медленный сигнал, для которого временная развертка — 10 мс/дел (100 мс поперек экрана). Если максимальный объем памяти осциллографа 100 тыс. точек, то прибор уменьшит частоту дискретизации до 1 Мвыб/с (период выборки составляет 100 мс/100 тыс. = 1 мкс).

В большинстве случаев это не проблема, так как регистрация медленных сигналов не требует большой частоты дискретизации. Но если входной сигнал представляет собой комбинацию частотных характеристик с медленными и высокими скоростями? Например, регистрируемый входной сигнал — синусоидальная волна 30 Гц с очень узкими импульсными помехами? Регистрация самой волны 30 Гц не требует высокой частоты дискретизации, а вот для узких импульсных помех она может понадобиться. Выполним тест по регистрации такого сигнала.

- 1 Убедитесь, что пробник осциллографа все еще подключен к контакту с подписью “Demo” (Демонстрация) и входу BNC канала 1.
- 2 На лицевой панели осциллографа нажмите клавишу **[Default Setup] Настройка по умолчанию**.
- 3 Нажмите кнопку **[Help] Справка**, затем нажмите программную кнопку **Обуч. сигналы**.
- 4 С помощью ручки **ввода** выберите сигнал **Синусоида с импульсной помехой**, затем нажмите программную кнопку **Вывод** для его включения.
- 5 Установите значение настройки В/дел канала 1 **500,0 мВ/дел**.
- 6 Установите временную развертку осциллографа **10,00 мс/дел**.
- 7 Нажмите кнопку **[Intensity] Яркость** (под ручкой **ввода**), затем с помощью ручки **ввода** установите яркость кривой сигнала **100 %**.

Кривая на экране должна выглядеть, как на **Рис. 40**. У пиков синусоидальной волны наблюдаются несколько импульсных помех (узкие импульсы). И амплитуда этих помех, кажется, может изменяться (прыгать вверх и вниз). На самом деле она стабильна. Просто осциллограф снизил частоту дискретизации (см. ее значение под логотипом Keysight на дисплее прибора) и регистрирует узкие импульсные помехи с перерывами. Т. е. осциллограф осуществляет неполную выборку помех. Иногда прибор регистрирует пик импульсной помехи, иногда — точку на переходе помехи, а иногда — вообще ничего не регистрирует (так как длительность помехи меньше интервала выборки). Чтобы избежать этой неприятности, в осциллографе предусмотрен режим сбора данных “Обнаружение пиков”. Чтобы включить его, выполните указанные ниже действия.

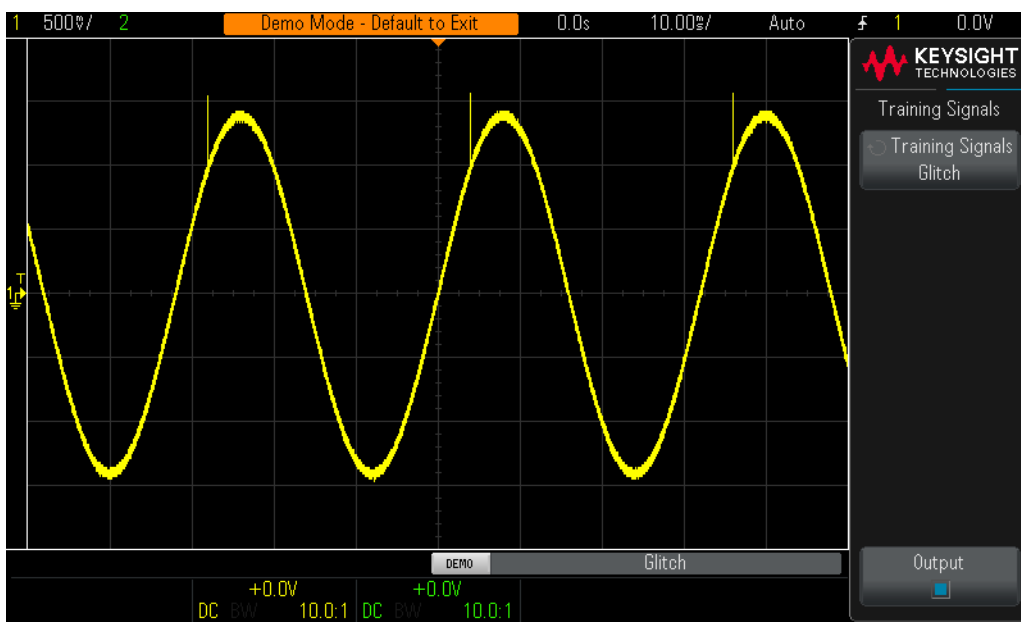


Рис. 40 Осциллограф автоматически снизил частоту дискретизации и возникла недостаточная выборка повторяющейся импульсной помехи

- 8 На лицевой панели нажмите кнопку **[Acquire] Захват** (в секции управления разверткой).
- 9 Нажмите программную кнопку **Режим сбора**, затем с помощью ручки **ввода** выберите режим **Обнаружение пиков**.

Теперь высота импульсных помех должна выглядеть более стабильной, как на **Рис. 41**. Когда выбран режим сбора данных **Обнаружение пиков**, осциллограф автоматически прореживает полученные данные при высокой частоте дискретизации, но не снижает ее при выборке сигналов. Например, пусть прибору нужно работать с частотой дискретизации 1/100 от максимальной. Такой режим эквивалентен работе с максимальной частотой дискретизации, но с сохранением 1 из 100 точек, что не является наилучшим способом прореживания. В режиме определения пика осциллограф анализирует серию из 200 последовательных

выборки в реальном времени (сделанных при высокой частоте дискретизации), а затем сохраняет только максимальное и минимальное оцифрованные значения этой группы, т. е. только две точки. Таким образом, коэффициент прореживания равен 100.

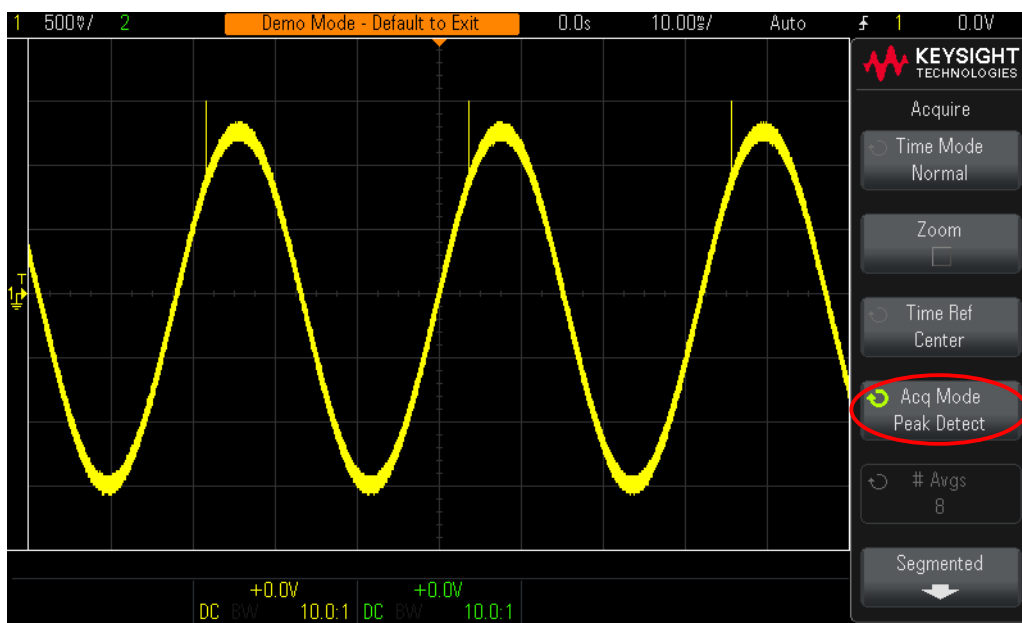


Рис. 41 Осциллограф в режиме сбора данных “Обнаружение пиков” точно регистрирует узкие импульсные помехи в медленной синусоидальной волне

Почему нельзя всегда использовать режим **Обнаружение пиков**? При использовании этого режима сбора данных возникают некоторые ограничения. Во-первых, снижается максимальная частота дискретизации осциллографа. Во-вторых, точки сохранения распределены **НЕРАВНОМЕРНО**. Последнее является важным критерием в теореме дискретизации Найквиста. Режим **Обнаружение пиков** хорошо подходит для такого вида измерений. Однако режим **Обнаружение пиков** может не подойти для других методов измерений.

Дополнительные сведения по выборке осциллографом в реальном времени см. в документе Keysight *Сравнение частоты и точности дискретизации осциллографа*. Это приложение приведено в конце этого документа вместе с инструкциями по загрузке.

Лабораторная работа № 14. Использование сегментированной памяти для регистрации большего количества сигналов

Сбор данных с помощью сегментированной памяти является стандартной функцией осциллографов Keysight InfiniiVision моделей DSOX1102A и DSOX1102G. Эта функция недоступна в моделях EDUX1002A и EDUX1002G, поэтому, если используется осциллограф EDUX, выполнение лабораторной работы завершено. Если используется модель DSOX, рассмотрим память для получения данных более подробно. Как вы уже знаете из предыдущей лабораторной работы, у всех осциллографов ограничен объем памяти для получения данных. И ее объем определяет интервал времени, при котором возможна регистрация с высокой частотой дискретизации. Чтобы проводить регистрацию в течение длительного времени, можно просто установить длинную временную развертку сек/дел. Однако осциллограф может автоматически снизить частоту дискретизации, чтобы осуществлять измерения в течение длительного диапазона, что приводит к уменьшению получаемых деталей сигнала и снижению разрешения измерений. Режим сбора данных “Сегментированная память” — альтернативное решение, предназначенное для оптимизации использования объема памяти и частоты дискретизации, в частности для регистрации множества сигналов с низким рабочим циклом. Выполним регистрацию смоделированной серии импульсов радара с низким рабочим циклом и выведем ее на экран.

- 1 Убедитесь, что пробник осциллографа все еще подключен к контакту с подписью “Demo” (Демонстрация) и входу BNC канала 1.
- 2 На лицевой панели осциллографа нажмите клавишу **[Default Setup] Настройка по умолчанию**.
- 3 Нажмите кнопку **[Help] Справка**, затем нажмите программную кнопку **Обуч. сигналы**.
- 4 С помощью ручки **ввода** выберите сигнал **Серия РЧ-импульсов**, затем нажмите программную кнопку **Вывод** для его включения.
- 5 Установите значение настройки В/дел канала 1 **1 В/дел**.
- 6 Установите для временной развертки осциллографа значение **10,00 мкс/дел**.
- 7 Приблизительно установите уровень запуска осциллографа **+1,50 В** (~1,5 деления выше центра экрана).
- 8 Нажмите кнопку **[Intensity] Яркость** (под ручкой **ввода**), затем с помощью ручки **ввода** установите яркость кривой сигнала **100 %**.

На экране должна отображаться одиночная серия синусоидальных волн, как на **Рис. 42**. Теперь изменим масштаб временной развертки, чтобы зарегистрировать несколько импульсов из этих серий.

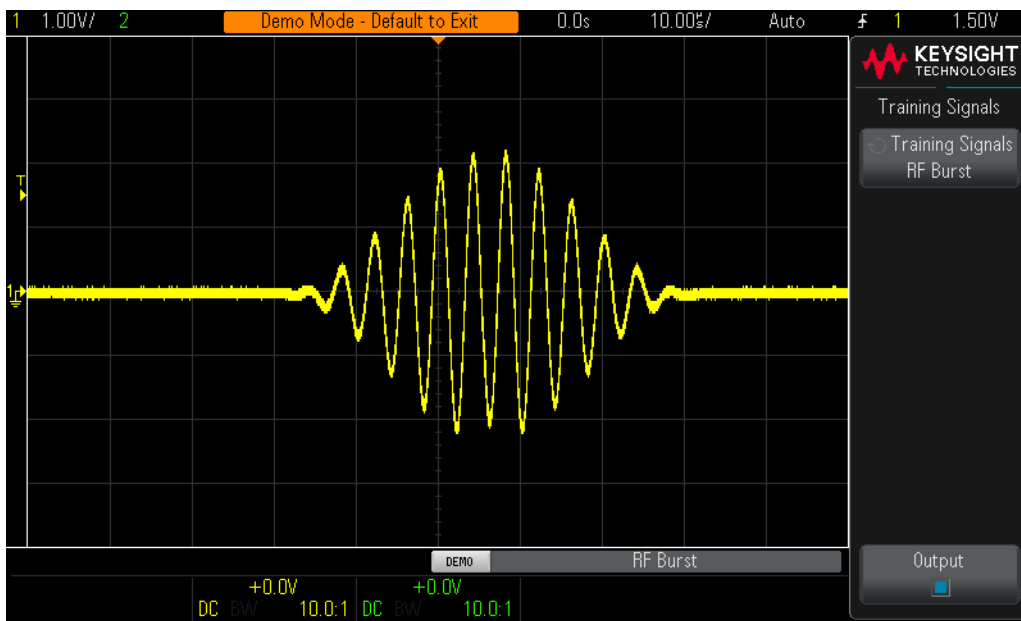


Рис. 42 Регистрация и отображение серии РЧ-импульсов при 200,0 нс/дел

9 Установите временную развертку осциллографа **50,00 мс/дел**.

При регистрации нескольких серий РЧ-импульсов с интервалом 4,0 мс, в приборе включится неполная выборка и на экране отобразится сигнал переменной амплитуды, как показано на Рис. 43. Это снова связано с тем, что осциллограф автоматически снижает свою частоту дискретизации для регистрации длинного диапазона в памяти ограниченного объема. Теперь увеличьте масштаб и внимательно изучите эти данные с неполной выборкой.

3 Лабораторные работы по дополнительным измерениям с помощью осциллографа

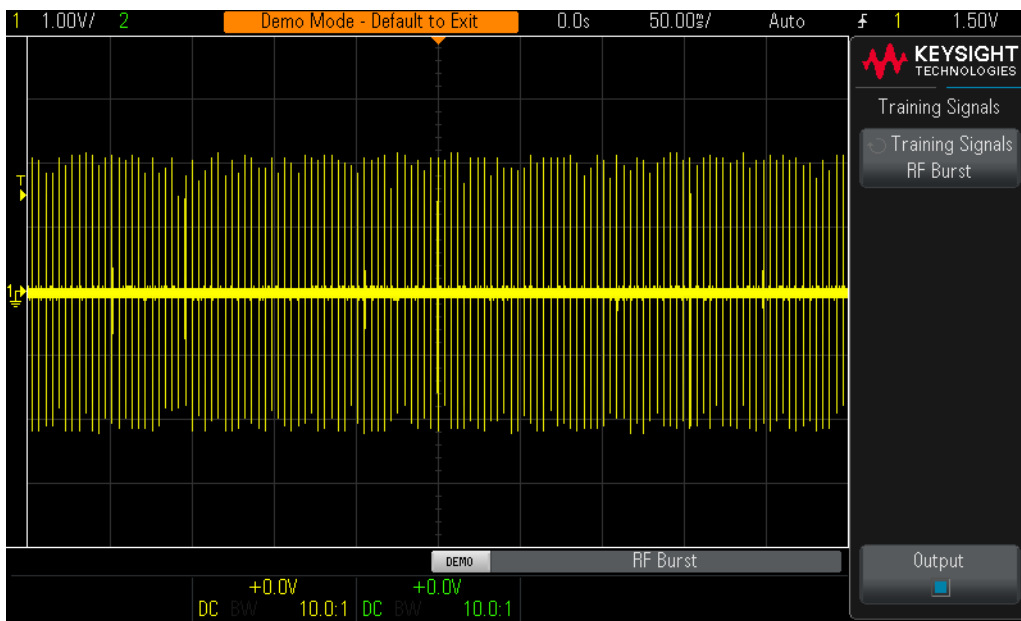


Рис. 43 Регистрация нескольких сигналов серии РЧ-импульсов при медленной временной развертке

10 Чтобы остановить повторяющийся сбор данных, нажмите кнопку **[Run/Stop]** **Пуск/Стоп** (кнопка **[Run/Stop]** **Пуск/Стоп** загорится красным).

11 Установите временную развертку **5,000 мкс/дел**.

После регистрации сигнала при медленной временной развертке и увеличения масштаба ясно видно, что сигнал регистрировался с неполной выборкой, о чем свидетельствуют углы на кривой, как на **Рис. 44**. Не забывайте, что регистрировалась серия синусоидальных волн.

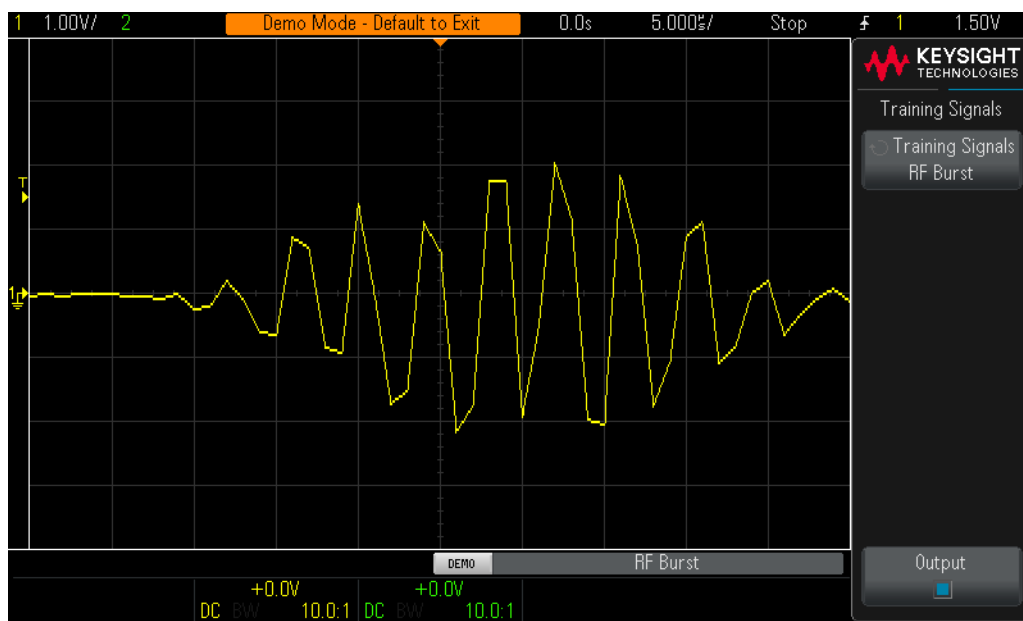


Рис. 44 Увеличение масштаба выявило неполную выборку сигнала

Несмотря на то, что в режиме “Обнаружение пиков” возможно точное измерение полной амплитуды каждой серии при медленной временной развертке (см. **Рис. 43**), после увеличения масштаба сохраненной кривой видно, что выборка оказалась недостаточной. Чтобы избежать этой неприятности, можно купить осциллограф с большим объемом памяти. Однако на факультете электротехники или физики могут не согласиться с этим. В качестве альтернативы для регистрации нескольких серий с высоким разрешением используем режим сбора данных “Сегментированная память”.

- 12** Чтобы снова начать повторяющийся сбор данных с временной разверткой 10,00нс/дел (кнопка **[Run/Stop] Пуск/Стоп** загорится зеленым), нажмите кнопку **[Run/Stop] Пуск/Стоп**.
- 13** На лицевой панели, рядом с ручкой курсоров нажмите кнопку **[Acquire] Захват**, затем нажмите программную кнопку **Сегментированная** (доступна только при наличии лицензии на модуль SGM).
- 14** Нажмите программную кнопку **Кол-во сегм.** и вращайте ручку **ввода**, пока не отобразится значение **Кол-во сегм. = 25**.
- 15** Теперь нажмите программную кнопку **Сегментированная**, чтобы включить этот режим сбора данных.

В осциллографе уже должно быть сохранено 25 последовательных снимков серии. Чтобы просмотреть их, выполним указанные ниже действия.

- 16** Нажмите программную кнопку **Тек. сегм.**, затем с помощью ручки **ввода** просмотрите все 25 сигналов.

17 Теперь с помощью ручки **ввода** установите значение **Тек. сегм. = 25** (последний зарегистрированный сегмент/сигнал).

При регистрации последовательных серий сигналов с низким рабочим циклом осциллограф сделал отметку времени на каждом сегменте/сигнале относительно первого сохраненного сегмента/сигнала. Временные метки отображаются в нижнем левом углу дисплея. У сегмента № 25 временная метка должна быть примерно 97 мс и включать в себя отметку времени суток, как показано на **Рис. 45**. У сохраненного сигнала должно быть очень высокое разрешение, так как при его регистрации осциллографом использовалась максимальная частота дискретизации. Если бы для регистрации диапазона ~100 мс (10 мс/дел) использовался режим сбора данных "Нормальный", то частота дискретизации была бы значительно ниже и, следовательно, разрешение каждой серии было бы значительно меньше.

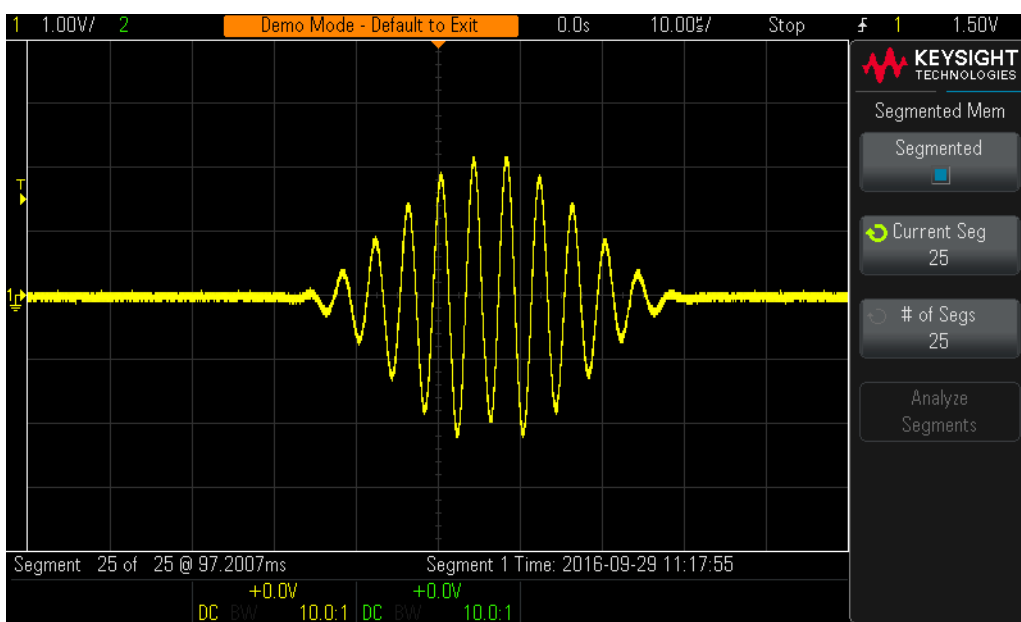


Рис. 45 Использование сбора данных с сегментированной памятью для регистрации нескольких сигналов с высоким разрешением

Сегментация памяти оптимизирует работу осциллографа благодаря регистрации только данных формы сигнала небольшими сериями (или сегментами) (в данном случае короткой серии синусоидальной волны). Осциллограф не регистрирует ненужное время запаздывания между сериями. Сбор данных с помощью сегментированной памяти используется и для регистрации нескольких последовательных пакетов цифровых данных.

4 Резюме

Список литературы Keysight / 80

После выполнения всех лабораторных работ данного лабораторного руководства по осциллографам и учебного пособия вы, надеемся, стали хорошо разбираться в устройстве и функциях осциллографа. Благодаря этому документу можно проверять цепи более эффективно и понять основные понятия электротехники и физики, а также использовать сведения в нем уже после завершения обучения при проверке схем в промышленности, при быстрой их отладки и при продвижении продуктов на рынок. Компания Keysight предоставляет разнообразные указания по применению для рассмотренных выше тем. Они перечислены на следующей странице.

Список литературы Keysight

Table 1 Список литературы Keysight

Название публикации	Тип публикации	Номер публикации
Сравнение основных характеристик осциллографа	Приложение	5989-8064EN
Сравнение полосы пропускания осциллографов для конкретной области применения	Приложение	5989-5733EN
Сравнение частоты и точности дискретизации осциллографа	Приложение	5989-5732EN
Сравнение осциллографов по скорости обновления сигналов	Приложение	5989-7885EN
Сравнение характеристик вертикального шума осциллографов	Приложение	5989-3020EN
Сравнение осциллографов по качеству изображения	Приложение	5989-2003EN
Сравнение сегментированной памяти осциллографа для использования последовательной шины	Приложение	5990-5817EN

Чтобы загрузить эти документы, вставьте номер публикации в URL:
<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/xxxx-xxxxEN.pdf>

А Блок-схема и принцип работы осциллографа

Блок-схема DSO / 82

Блок АЦП / 82

Блок аттенюатора / 83

Блок смещения постоянной составляющей / 83

Блок усилителя / 83

Блоки компаратора запуска и логического запуска / 84

Блоки временной развертки и памяти / 85

Блок DSP дисплея / 86

Блок-схема DSO

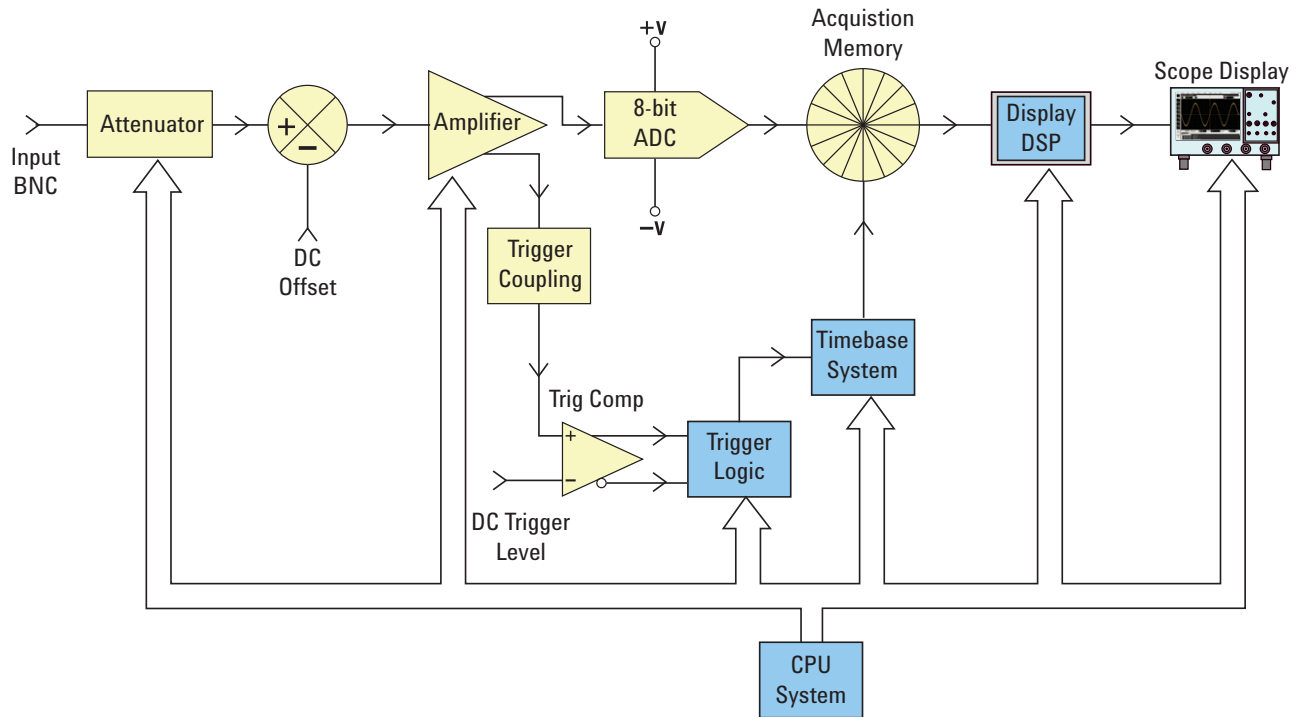


Рис. 46 Блок-схема DSO

На **Рис. 46** показана блок-схема одного канала ввода стандартного цифрового осциллографа с функцией сохранения (DSO). Желтые блоки представляют компоненты системы, уникальные для одного канала сбора данных, например канала 1 или канала 2. Синие блоки представляют компоненты системы, которые являются общими для всех каналов сбора данных, например общей временной развертки осциллографа и системы ЦП.

Блок АЦП

АЦП (преобразователь аналогового сигнала в цифровой) находится в середине блок-схемы. Блок АЦП — основной компонент всех осциллографов DSO. Он предназначен для преобразования входного аналогового сигнала в последовательность цифр. В большинстве современных DSO используются 8-битные блоки АЦП, которые обеспечивают 256 уникальных уровней/кодов выходного сигнала. Эти цифровые двоичные коды хранятся в памяти входных данных осциллографа, которая рассмотрена ниже. Если уровень входного аналогового сигнала в АЦП равен или меньше $-V$, то выходной сигнал блока АЦП будет 00000000 (0 в десятичной форме). Если уровень входного аналогового

сигнала в АЦП равен или больше $+V$, то выходной сигнал блока АЦП — 11111111 (255 в десятичной форме). Если уровень входного аналогового сигнала в АЦП равен $0,0 V$, то выходной сигнал блока АЦП — 10000000 (128 в десятичной форме).

Для достижения наибольшего разрешения и выполнения точных измерений входной сигнал в АЦП должен быть масштабирован в своем динамическом диапазоне $\pm V$. Несмотря на то, что у АЦП входной динамический диапазон ограничен и фиксирован в зависимости от опорных напряжений АЦП ($\pm V$), осциллографы должны регистрировать широкий динамический диапазон сигналов, в том числе входные сигналы высокого и низкого уровней. Масштабирование аналогового входного сигнала АЦП в пределах динамического диапазона АЦП определяется блоками аттенюатора, смещения постоянной составляющей и усилителя, которые рассмотрены ниже.

Блок аттенюатора

В основу блока аттенюатора положена схема резисторных делителей, которая предназначена для масштабирования входного сигнала в пределах динамического диапазона аналогового усилителя с переменным усилением и АЦП. Если поступает входной сигнал высокого уровня, например с двойной амплитудой $40 V$, то уровень сигнала должен быть уменьшен (ослаблен). Если поступает входной сигнал низкого уровня, например с двойной амплитудой $10 mV$, то он проходит через усилитель без изменения (1:1). При изменении настройки В/дел осциллографа раздаются щелчки. Они возникают при переключении механических реле между сетями резисторных делителей. Кроме того, с помощью блока аттенюатора пользователь может переключить входной импеданс ($1 M\Omega$ или 50Ω) и связь входа переменного и постоянного тока.

Блок смещения постоянной составляющей

Если входной сигнал представляет собой со смещением постоянной составляющей, например цифровой сигнал, уровень которого колеблется в диапазоне от 0 до $5 V$, и его нужно вывести по центру дисплея, то к нему необходимо добавить внутреннее смещение постоянной составляющей противоположной полярности, чтобы сместить входной сигнал в пределах динамического диапазона АЦП. В качестве альтернативы можно выбрать связь по переменному току, чтобы устранить компонент постоянного тока входного сигнала.

Блок усилителя

Последним этапом обработки аналогового сигнала при масштабировании входного сигнала в пределах динамического диапазона системы АЦП является его прохождение через усилитель осциллографа с переменным усилением. Если поступает входной сигнал очень низкого уровня, то обычно нужно задать довольно низкое значение В/дел. При низком значении В/дел на этапе прохождения сигнала

через усилитель аттенюатора не произойдет его затухания (усиление = 1), затем усилитель увеличит (усиление >1) амплитуду сигнала, чтобы использовать весь динамический диапазон АЦП. Если поступает входной сигнал очень высокого уровня, то обычно нужно задать довольно высокое значение В/дел. При высоком значении В/дел на этапе прохождения сигнала через аттенюатор произойдет его ослабление (усиление < 1) настолько, чтобы он находился в пределах динамического диапазона усилителя, затем усилитель может еще ослабить сигнал (усиление <1) так, чтобы он находился в пределах динамического диапазона АЦП.

Если выбрано конкретное значение В/дел, то осциллограф автоматически определит требуемые величины затухания в блоке аттенюатора и усиления (или, возможно, дополнительного затухания) в блоке усилителя. Можно представить блок аттенюатора, блок смещения составляющей постоянного тока и блок усилителя в виде одного условного блока преобразования входного аналогового сигнала, который выполняет линейное преобразование сигнала, представляющего входной сигнал там образом, чтобы он оставался в пределах динамического диапазона блока АЦП, в зависимости от настройки В/дел и смещения конкретного канала осциллографа.

Блоки компаратора запуска и логического запуска

Блоки триггера-компаратора и логической схемы триггера предназначены для определения уникального момента времени внутри входного сигнала (или комбинации нескольких входных сигналов), по которому должны синхронизироваться входные данные. После выполнения лабораторной работы № 2 (Изучение основ синхронизации осциллографа) этого руководства вы узнаете, что такое запуск (синхронизация).

Пусть входной сигнал представляет собой синусоидальную волну, для которой необходимо установить запуск по переднему фронту при уровне 50 %. В этом случае неинвертированный выходной сигнал компаратора запуска представляет собой прямоугольную волну с рабочим циклом 50 %. Если уровень запуска задан больше 50 %, то неинвертированный выходной сигнал компаратора запуска будет меньше 50 %. И наоборот, если уровень запуска задан меньше 50 %, то неинвертированный выходной сигнал компаратора запуска будет больше 50 %. Если запуск основан только на пересечении положительных фронтов одиночного канала, то логический блок запуска передает неинвертированный выходной сигнал компаратора запуска в блок временной развертки. Если запуск происходит по отрицательным фронтам одиночного канала, то логический блок запуска передает инвертированный выходной сигнал компаратора запуска в блок временной развертки. В этом случае блок временной развертки использует в качестве уникального момента времени синхронизации передний фронт сигнала запуска. Помимо этого, запуск может зависеть от многих других переменных, например ограничения времени и комбинации входных сигналов из нескольких входных каналов.

Блоки временной развертки и памяти

Блок временной развертки отвечает за выбор начала и окончания выборки АЦП относительно события запуска. Кроме того, блок временной развертки отвечает за частоту дискретизации АЦП, которая зависит от доступной памяти для получения данных и настройки временной развертки. Например, предположим, что осциллограф настроен на запуск по центру экрана (настройка по умолчанию), используя настройку временной развертки 1 мс/дел. Также для простоты предположим, что объем памяти осциллографа для получения данных составляет всего 1000 точек. В этом случае осциллограф использует 500 точек до события запуска и 500 точек после него. При выбранной временной развертке заполнение 1000 точек происходит в течение 10 мс (1 мс/дел x 10 делений). Даже если максимальная частота дискретизации осциллографа составляет 2 Гвыб/с, при такой временной развертке ее блок снизит частоту непрерывной дискретизации до 100 тыс. выб/с (Частота дискретизации = Память/промежуток времени = 1000 выб/10 мс = 100 квыб/с).

После нажатия кнопки “Пуск” блок временной развертки включает непрерывное сохранение оцифрованных данных в циклическую память осциллографа для получения данных с соответствующей частотой дискретизации (100 квыб/с). После каждой выборки блок временной развертки увеличивает адрес в буфере циклической памяти для получения данных, кроме этого, он отсчитывает количество выборок до 500 (при объеме памяти в 1000 точек и настройке запуска по центру экрана). Как только блок временной развертки определит, что сохранено не менее 500 выборок (т. е. по крайней мере половина памяти заполнена), он включает запуск и дожидается первого переднего фронта выходного сигнала компаратора запуска (в режиме простого запуска по фронту). В процессе ожидания запуска, в буфере циклической памяти осциллографа продолжают сохраняться данные. Если событие запуска происходит очень редко, то сохраненные данные могут быть перезаписаны при его ожидании. Это нормально. После обнаружения события запуска блок временной развертки снова начинает отсчет до 500. После сохранения дополнительных 500 выборок блок временной развертки отключает выборку. Т. е. последние 500 сохраненных выборок представляют собой последовательные точки кривой сигнала *после* события запуска, а предыдущие 500 — такие точки *до* события. С этого момента начинает работу блок DSP дисплея.

Помимо запуска по центру экрана, как в этом примере, с помощью элементов управления задержки/положения по горизонтали можно установить точку запуска в любом месте. Например, можно установить задержку, при которой точка запуска находится на 75 % длины горизонтальной оси (относительно левой стороны экрана). В этом случае блок временной задержки изначально установит счетчик на 750 точек (при объеме памяти для получения данных в 1000 точек) до события запуска и на 250 точек после него.

Блок DSP дисплея

После завершения сбора данных блок DSP дисплея переводит данные в блоке памяти для получения данных в последовательности «последним поступил — первым вышел». Блок DSP дисплея производит не только быструю обработку сохраненных данных цифрового сигнала, например, выполняет фильтр цифровой реконструкции $\text{Sin}(x)/x$, но и передает сохраненные и/или обработанные данные в память пиксельного дисплея осциллографа. После восстановления данных из памяти для сбора данных блок DSP сообщает блоку временной развертки, что он может начинать новый сбор данных.

Осциллографы DSO предыдущих поколений не включали в себя отдельного блока DSP дисплея. Его функции выполняла система ЦП осциллографа, но ее низкая эффективность ограничивала частоту обновления сигнала. С отдельным блоком вывода DSP некоторые современные DSO обеспечивают частоту обновления до 1 000 000 сигналов в секунду.

TIP

Для получения дополнительных сведений по основным принципам работы осциллографов загрузите приложение Keysight с названием *Изучение основных принципов работы осциллографа*. Эта публикация и инструкции по загрузке приведены в разделе [Список литературы Keysight](#) этого руководства.

В Учебное пособие по определению полосы пропускания осциллографа

Определение полосы пропускания осциллографа / 88

Требуемая полоса пропускания для аналоговых сигналов / 90

Требуемая полоса пропускания для цифровых приборов / 91

Сравнение измерений цифровых тактовых сигналов / 94

Существует множество различных характеристик осциллографов, которые определяют точность регистрации и измерения сигналов. Основной характеристикой осциллографа является его полоса пропускания. У осциллографов, которыми пользуются на лабораторных работах студенты электротехнических факультетов, полоса пропускания, вероятно, будет достаточная для большинства, если не всех заданий, назначаемых преподавателем. После окончания учебного заведения и начала работы в электронной промышленности вам, вполне вероятно, понадобится выбрать осциллограф для проверки схем из доступного набора или провести оценку разных приборов для последующего приобретения. Данное руководство по определению полосы пропускания осциллографа содержит ряд полезных советов по выбору прибора с подходящей полосой пропускания для измерений цифровых и аналоговых сигналов. Но сначала давайте дадим определение термину «полоса пропускания осциллографа».

Определение полосы пропускания осциллографа

Все осциллографы обладают амплитудно-низкочастотной характеристикой, которая имеет наклон вниз на высоких частотах, как показано на **Рис. 47**. Большинство осциллографов с характеристикой полосы пропускания 1 ГГц и ниже имеют так называемую Гауссовую амплитудно-частотную характеристику. Гауссова амплитудно-частотная характеристика осциллографа соответствует однополюсному фильтру низких частот, с которым вы, возможно, уже познакомились на курсах по изучению цепей, и может быть даже строили для них диаграммы Боде.

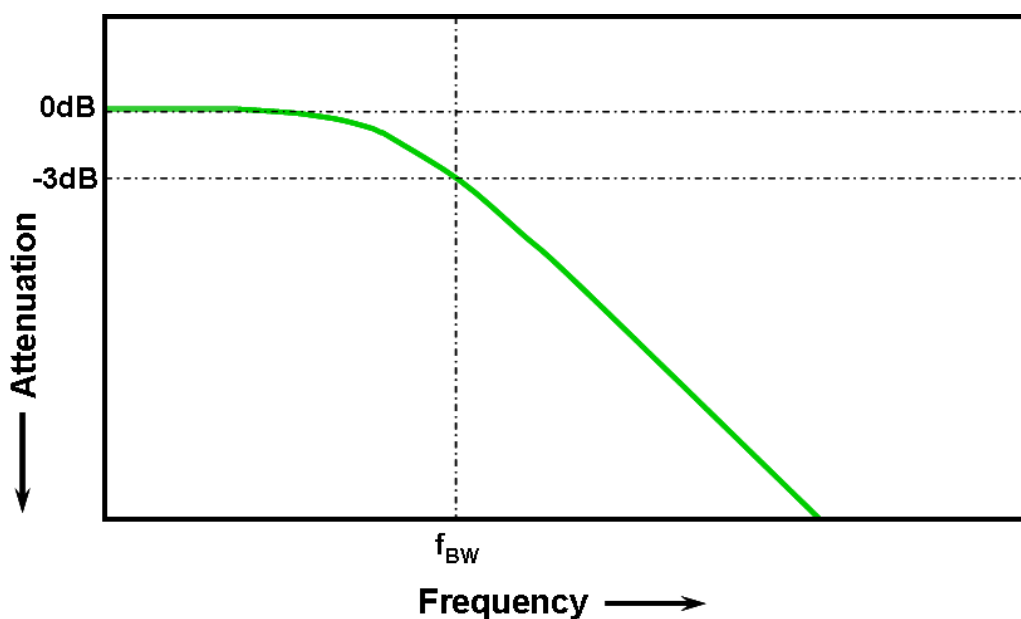


Рис. 47 Гауссова амплитудно-частотная характеристика осциллографа

Самая низкая частота, при которой входной сигнал ослабляется на 3 дБ, называется полосой пропускания осциллографа (f_{BW}). Затухание сигнала в момент -3 дБ соответствует примерно -30% ошибки в амплитуде. Другими словами, если входной сигнал (синусоидальная волна с двойной амплитудой 1 В и частотой 100 МГц) поступает в осциллограф с полосой пропускания 100 МГц, то измеряемая на нем двойная амплитуда будет находиться в диапазоне примерно 700 мВ (-3 дБ = $20 \text{ Log } [0,707/1,0]$). Невозможно выполнить точные измерения сигналов, у которых существенный диапазон частот приходится на частоты, близкие к полосе пропускания осциллографа.

С полосой пропускания осциллографа тесно связана такая характеристика, как время нарастания. Приблизительное время нарастания осциллографа с амплитудно-частотной характеристикой гауссова типа составляет $0,35/f_{BW}$ на основе критерия 10 % до 90 %. Однако время нарастания осциллографа не является наибольшей скоростью фронта, которую осциллограф может точно измерить. Оно

представляет собой наибольшую скорость фронта, которую может создать прибор при теоретически бесконечно быстром времени нарастания входного сигнала (0 пс). Несмотря на то, что эту теоретическую характеристику невозможно проверить (так как генераторы импульсов не могут создавать бесконечно быстрые фронты), на практике можно измерить время нарастания осциллографа, если подать импульс со скоростями фронтов в 5-10 раз быстрее, чем характеристика времени нарастания прибора.

Требуемая полоса пропускания для аналоговых сигналов

Ранее большинство производителей рекомендовали осциллографы с полосой пропускания по крайней мере в три раза большей, чем максимальная частота входного сигнала. Эту рекомендацию может еще помнить ваш преподаватель. Несмотря на то, что коэффициент 3 не применим к цифровым сигналам, основанным на тактовых частотах и скоростях фронтов, он по-прежнему действителен для аналоговых сигналов, например модулированной РЧ. Чтобы понять, откуда возник коэффициент 3, давайте рассмотрим реальную амплитудно-частотную характеристику осциллографа с полосой пропускания 1 ГГц.

На **Рис. 48** показано тестирование измеряемой амплитудно-частотной характеристики (1 МГц—2 ГГц) на осциллографе Keysight с полосой пропускания 1 ГГц. На графике видно, что при 1 ГГц измеряемый выходной сигнал (кривая на дисплее осциллографа) затухает чуть менее чем на 3 дБ ($V_o/V_i > 0,7$). Чтобы обеспечить точность измерения аналоговых сигналов, их необходимо проводить на относительно плоском участке графика, где затухание минимально. Приблизительно до 1/3 полосы пропускания 1 ГГц осциллографа прибор демонстрирует очень незначительное затухание (-0,2 дБ).

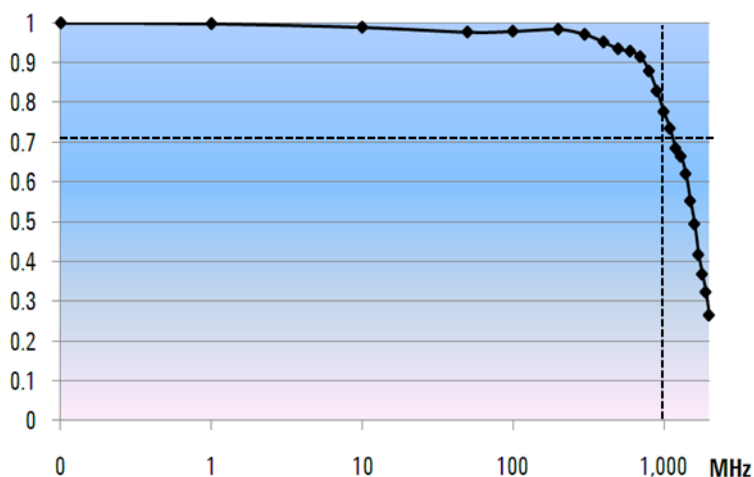


Рис. 48 Реальная амплитудно-частотная характеристика осциллографа Keysight с полосой пропускания 1 ГГц

Требуемая полоса пропускания для цифровых приборов

При работе в электронной промышленности в подавляющем большинстве случаев придется иметь дело с цифровыми сигналами. Сейчас цифровые тактовые сигналы и каналы для последовательной передачи данных имеют пропускную способность в несколько гигабит/с.

Практическое правило

На практике можно руководствоваться правилом, согласно которому полоса пропускания осциллографа должна по меньшей мере в 5 раз превышать максимальную тактовую частоту тестируемой цифровой системы. В этом случае прибор может регистрировать даже пятую гармонику с минимальным затуханием сигнала. Эта гармоника очень важна для определения общей формы цифровых сигналов.

$$f_{BW} \geq 5 \times f_{clk}$$

Однако для точных измерений высокоскоростных фронтов эта простая формула не учитывает реальных высокочастотных составляющих, которые присутствуют в быстрых передних и задних фронтах.

Шаг 1. Определение самых быстрых реальных скоростей фронтов

Более точный метод определения требуемой полосы пропускания осциллографа заключается в выявлении максимальной частоты цифровых сигналов, которая не совпадает с максимальной тактовой частотой. Максимальная частота будет зависеть от самых быстрых скоростей фронтов в схемах. Сначала нужно определить время нарастания и спада самых быстрых сигналов. Обычно сведения о них находятся в спецификациях устройств, используемых в схеме.

Шаг 2. Расчет $f_{изл}$

Можно использовать простую формулу для вычисления максимальной “практической” частотной составляющей. Др. Ховард В. Джонсон написал книгу по этой теме “*Высокоскоростная передача цифровых данных: высший курс черной магии.*”¹ В ней эта частотная составляющая называется частотой излома ($f_{изл}$). У всех быстрых фронтов есть бесконечное множество частотных составляющих. Однако в частотном спектре быстрых фронтов имеется некий излом, где частотные составляющие с частотой, превышающей $f_{изл}$, являются неважными для определения формы сигнала.

$$f_{\text{изл}} = 0,5/RT \text{ (10 \% 90 \%)}$$

$$f_{\text{изл}} = 0,4/RT \text{ (20 \% 80 \%)}$$

У сигналов с характеристиками времени нарастания, основанных на порогах от 10 % до 90 %, $f_{\text{изл}}$ равна 0,5/время нарастания сигнала. У сигналов с характеристиками времени нарастания, основанных на порогах от 20 % до 80 %, что очень часто встречается в спецификациях на современные приборы, $f_{\text{изл}}$ равна 0,4/время нарастания сигнала. Не путайте эти значения времени нарастания с определенным в осциллографе временем нарастания. Сейчас речь идет о скоростях фронтов реальных сигналов.

Шаг 3. Расчет полосы пропускания осциллографа

Третий шаг заключается в определении полосы пропускания осциллографа, требуемой для измерения этого сигнала в соответствии с заданной точностью, необходимой для измерения времени нарастания и времени спада. В **Table 2** показаны коэффициенты для разной степени точности осциллографа с Гауссовой амплитудно-частотной характеристикой.

Table 2 Коэффициенты для определения требуемой полосы пропускания осциллографа с нужной точностью

Требуемая точность	Требуемая полоса пропускания
20 %	$f_{\text{BW}} = 1,0 \times f_{\text{изл}}$
10 %	$f_{\text{BW}} = 1,3 \times f_{\text{изл}}$
3 %	$f_{\text{BW}} = 1,9 \times f_{\text{изл}}$

Пример

Рассмотрим следующий пример.

Определим минимальную требуемую полосу пропускания осциллографа со схожей Гауссовой амплитудно-частотной характеристикой, чтобы измерить время нарастания 1 нс (10-90 %)

Если примерное время нарастания/спада сигнала составляет 1 нс (на основании критерия 10-90 %), то максимальная частотная составляющая ($f_{\text{изл}}$) в сигнале, которая важна на практике, будет составлять около 500 МГц.

$$f_{\text{изл}} = 0,5/1 \text{ нс} = 500 \text{ МГц}$$

Если при проведении параметрических измерений времени нарастания и спада ошибки синхронизации до 20 % допустимы, то для измерения цифровых сигналов можно использовать осциллограф с полосой пропускания 500 МГц. Но если требуется погрешность во времени не более 3 %, то лучше выбрать прибор с полосой пропускания 1 ГГц.

Точность синхронизации 20 %:

Полоса пропускания осциллографа = 1,0 x 500 МГц = 500 МГц

Точность синхронизации 3 %:

Полоса пропускания осциллографа = 1,9 x 500 МГц = 950 МГц

Теперь выполним несколько измерений цифрового тактового сигнала с характеристиками, схожими с этим примером, используя осциллограф с разными полосами пропускания.

Сравнение измерений цифровых тактовых сигналов

На **Рис. 49** показаны результаты измерения цифрового сигнала с частотой дискретизации 100 МГц с быстрыми скоростями фронтов при использовании осциллографа с частотой пропускания 100 МГц. Как можно видеть на рисунке, осциллограф просто пропускает без изменений основную частотную составляющую 100 МГц этого тактового сигнала и он похож на синусоидальную волну. Полоса пропускания 100 МГц подходит для многих 8-битных схем на базе MCU с тактовыми частотами от 10 МГц до 20 МГц, однако такой полосы пропускания абсолютно недостаточно для данного цифрового тактового сигнала 100 МГц.

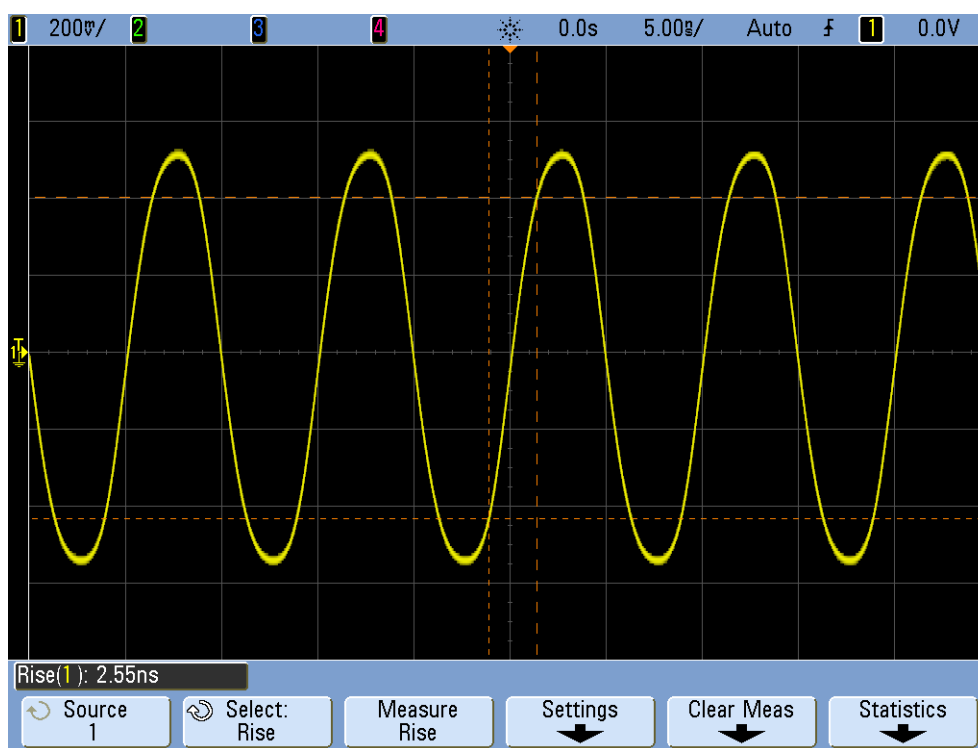


Рис. 49 Цифровой тактовый сигнал 100 МГц, регистрируемый на осциллографе с полосой пропускания 100 МГц

Осциллограф с полосой пропускания 500 МГц может регистрировать все составляющие вплоть до пятой гармоники, что является первой практической рекомендацией, это показано на **Рис. 50**. Однако при измерении времени нарастания осциллограф покажет около 750 пс. Иными словами, этот прибор не подходит для очень точного измерения времени нарастания данного сигнала. Этот осциллограф определил величину, близкую к его собственному времени нарастания (700 пс), а не время нарастания входного сигнала, близкое к 500 пс. Если измерения значений времени являются важными, то для этого цифрового сигнала потребуется осциллограф с большей полосой пропускания.

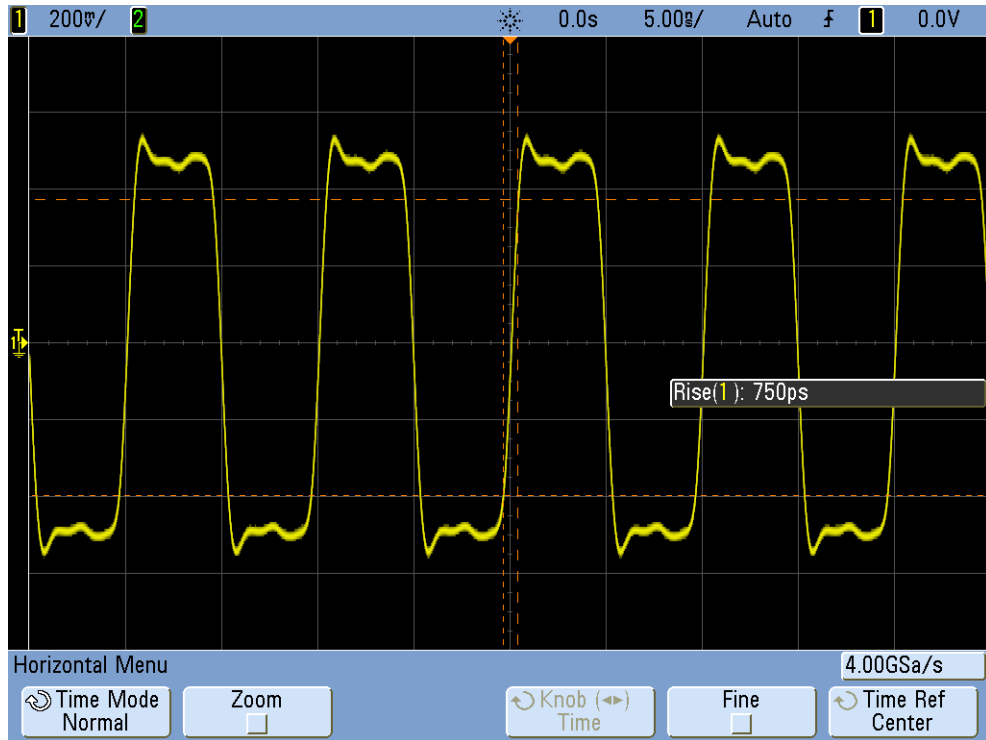


Рис. 50 Цифровой тактовый сигнал 100 МГц, регистрируемый на осциллографе с полосой пропускания 500 МГц

Если использовать осциллограф с полосой пропускания 1 ГГц для регистрации цифрового тактового сигнала 100 МГц, то представление сигнала будет гораздо более точным, как показано на Рис. 51. Можно измерить более высокие значения времени нарастания и спада, наблюдаются меньшее отклонение и даже едва уловимые отражения, которые скрывал осциллограф с меньшей полосой пропускания.

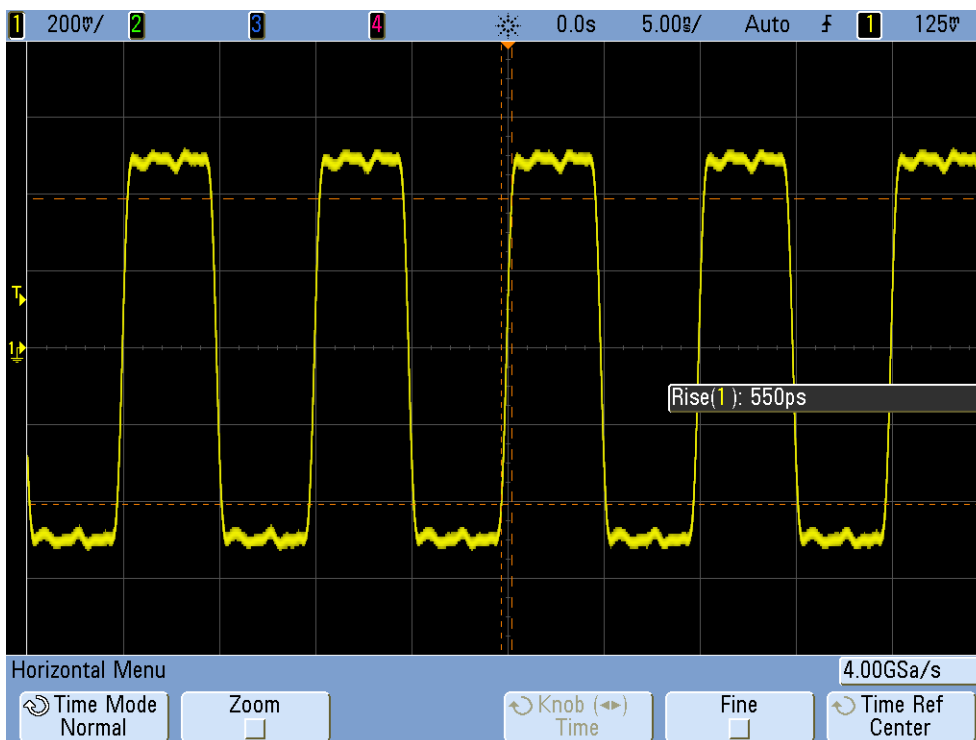


Рис. 51 Цифровой тактовый сигнал 100 МГц, регистрируемый на осциллографе с полосой пропускания 1 ГГц

В этом учебном пособии по определению полосы пропускания осциллографа основное внимание уделено осциллографам с Гауссовой амплитудно-частотной характеристикой, которая обычно имеется у приборов с полосой пропускания 1 ГГц и ниже. У многих осциллографов с большей полосой пропускания амплитудно-частотная характеристика обладает более резким спадом. С такой характеристикой частоты, находящиеся внутри полосы пропускания (ниже -3 дБ), затухают меньше, а те, что находятся вне ее (выше -3 дБ), ослабевают в большей степени. Такой тип амплитудно-частотной характеристики, который начинается с идеального фильтра, иногда называют максимально плоской амплитудно-частотной характеристикой. Для расчета требуемой полосы пропускания (> 1 ГГц) таких осциллографов используются другие формулы. Дополнительные сведения по полосе пропускания осциллографа можно найти в загружаемом приложении Keysight “Выбор полосы пропускания осциллографов для конкретной области применения”. Эта публикация и инструкции по загрузке приведены в разделе “Список литературы Agilent” этого руководства.

¹ High-Speed Digital Design, A Handbook of Black Magic, Howard Johnson, Martin Graham, 1993, Prentice Hall PTD, Prentice-Hall, Inc, Upper Saddle River, New Jersey 07458

Предметный указатель

D

DSO, 9, 82

Z

автоматический запуск, 27
автоматическое параметрическое измерение, 59
автоматическое приращение, 36
аналоговые осциллографы, 9
аналоговые сигналы, требуемая полоса пропускания, 90
блок DSP дисплея, 86
блок аттенюатора, 83
блок АЦП, 82
блок временной развертки, 85
блок памяти для получения данных, 85
блок смещения постоянной составляющей, 83
блок усилителя, 84
блоки компаратора запуска и логического запуска, 84
блок-схема, осциллограф, 82
введение, 4
верхний уровень сигнала, 62
внутренняя/паразитная емкость, 40
временная развертка с масштабированием, 67
высокочастотное заграждение, 31
гауссова частотная характеристика, 88, 96
генераторы функций, 45
гистерезис триггера, 32
динамический диапазон, 12
дифференциальный активный пробник, 12
емкость компенсации, 42
емкость нагрузки, 44
задержка запуска, 48
задержка, запуск, 48
задержка/положение, 26
значение двойной амплитуды напряжения, 21
измерение “Время нарастания”, 62
измерение “Время спада”, 62
измерение “Общий снимок”, 64
измерение с помощью осциллографа, 11
измерение, автоматическое параметрическое, 59
измерение, осциллограф, 11

измерения параметров цифрового импульса, 62
изображение, сохранение, 35
компенсация пробника, 41
компенсация, пробник, 40
курсоры, 22
литература, список Keysight, 80
максимально плоская амплитудно-частотная характеристика, 96
максимум сигнала, 62
математическая функция БПФ, 69
математические операции с сигналами, 69
момент времени запуска, 26
нагрузка пробников, 43
настройка, компенсация пробника, 42
настройка, сохранение, 35
Нормальный режим запуска для одиночного события, 56
одиночное событие, 56
осциллограф, 9
осциллограф, время нарастания, 88
осциллограф, ширина полосы пропускания, 87
память для получения данных, 71
паразитные емкости, 40
параметрическое измерение, автоматическое, 59
пассивный пробник 10 1 напряжения, 11
период, 21
подавление шума, 32
подсчет делений, 23
пороговые уровни для измерений, 62
пороговые уровни измерений, 63
пороговые уровни напряжения, 62
послесвечение, постоянное, 53
постоянное послесвечение, 53
практическая частотная составляющая, 91
преобразователь аналогового сигнала в цифровой (АЦП), 82
Примечание для преподавателя электротехнического и физического факультетов, 4
программные кнопки, 15
режим автоматического запуска, 28
режим задержки временной развертки, 67
режим запуска “Длительность импульса”, 52
режим нормального запуска, 28
режим обнаружения пиков, 72

режим сбора данных “Усреднение”, 33
режим сбора данных с помощью сегментированной памяти, 77
ручка ввода, 15
самые быстрые скорости фронтов, 91
сбор данных с помощью сегментированной памяти, 74
серия, 48
сигнал временных интервалов, 69
сигнал области частот, 69
сигнал, сохранение, 35
синхронизация, 25
синхронизация с импульсной помехой, 52
сохранение изображения, 35
сохранение настройки, 35
сохранение сигнала, 35
сравнения измерений цифровых тактовых сигналов, 94
стробированные измерения, 65
теорема дискретизации Найквиста, 73
требуемая полоса пропускания для аналоговых приборов, 90
требуемая полоса пропускания для цифровых приборов, 91
уровень яркости кривой, 16
Файл данных контрольной формы сигнала, 37
фильтр с крутым срезом, 96
цифровой осциллограф с функцией памяти, 9, 82
цифровые сигналы, требуемая полоса пропускания, 91
частота, 21
частота излома, 91
чувствительность триггеров, 32
ширина полосы пропускания осциллографа, 87
ширина полосы пропускания осциллографа, требуемая, 92
электрическая модель пассивного пробника 10 1, 12
элемент управления/ручка уровня запуска, 15
элементы управления “Коеф. отклонения”, 14
Элементы управления разверткой, 14



This information is subject to change without notice.

© Keysight Technologies, Inc.
2008-2017

Printed in Available in electronic
format only
March 1, 2017



54611-97009
www.keysight.com