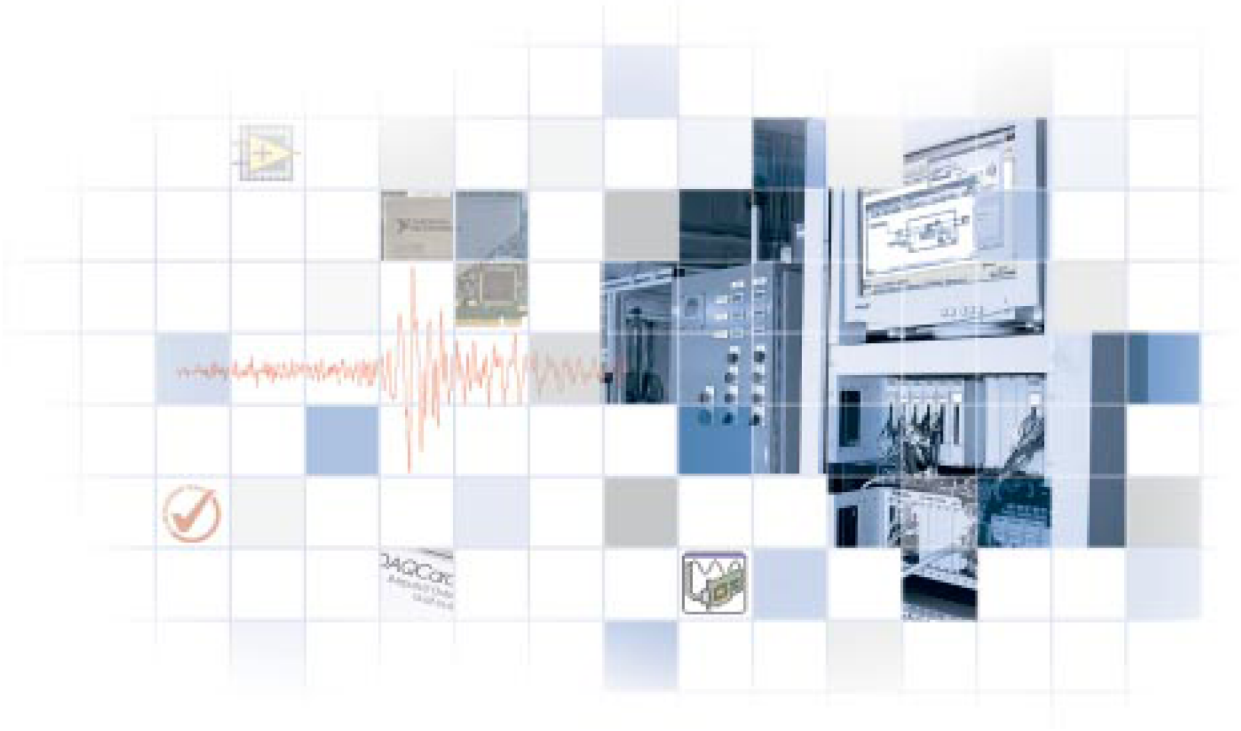


Системы сбора данных

Учебный курс

NATIONAL INSTRUMENTS™

Содержание

Занятие 1
Обзор датчиков, сигналов и согласования сигналов
A Обзор систем сбора данных 1-2
B Датчики (измерительные преобразователи) 1-3
C Сигналы 1-4
D Общее представление о согласовании сигналов 1-11
Итоги 1-15

Занятие 2
Оборудование и программное обеспечение систем сбора данных
A Обзор оборудования для сбора данных 2-2
B Компоненты устройства сбора данных 2-6
C Параметры систем сбора данных 2-12
D Заземление источников сигналов 2-17
E Типы измерительных систем 2-19
F Измерения с различными источниками сигналов 2-23
G Программное обеспечение для систем сбора данных 2-30
H Инструментальный драйвер NI-DAQ 2-31
I Проводник по средствам измерений и автоматизации Measurement & Automation Explorer(MAX) 2-33
J Обзор ВП NI-DAQmx 2-46
K Выполнение алгоритма NI-DAQmx: модель состояния задачи 2-50
Итоги 2-54

Занятие 3
Инициирование сбора данных
A Инициирование сбора данных 3-2
Итоги 3-11

Занятие 4
Аналоговый ввод
A Ввод аналоговых сигналов 4-2
B Фильтры защиты от наложения частот 4-7
C Использование ВП DAQmx Read 4-11
D Архитектуры устройств сбора данных 4-16
E Буферизированный аналоговый ввод 4-22
F Непрерывный сбор данных 4-31
Итоги 4-44

Занятие 5
Согласование сигналов
A Обзор согласования сигналов 5-2
B Конфигурация системы согласования сигналов 5-3
C Функции системы согласования сигналов 5-9
D Фильтрация 5-18
E Изоляция 5-30

F Согласование сигналов с датчиков 5-33
G Термопары 5-34
H Деформация 5-42
I Тензодатчики 5-43
J Согласование сигналов тензодатчиков 5-48
K Тензометрические уравнения 5-51
Итоги 5-59

Занятие 6

Обработка сигналов

A Дискретное (ДПФ) и быстрое преобразования Фурье (БПФ) 6-2
B Частотный интервал и симметрия ДПФ/БПФ 6-5
C Спектр мощности 6-8
D О спектральных утечках энергии и сглаживающих окнах 6-16
E Характеристики различных типов спектральных и временных окон 6-20
F Критерии выбора типа окна 6-26
G Фильтрация. 6-31
H Идеальные фильтры 6-32
I Реальные (неидеальные) фильтры 6-34
J Преимущества цифровых фильтров перед аналоговыми 6-36
K БИХ и КИХ фильтры 6-37
L Фильтры с бесконечной импульсной характеристикой 6-39
M Сравнение БИХ фильтров 6-44
N Переходная характеристика БИХ фильтров 6-46
O Фильтры с конечной импульсной характеристикой 6-53
Итоги 6-55

Занятие 7

Аналоговый вывод

A Архитектура вывода аналоговых сигналов 7-2
B Использование ВП DAQmx Write 7-4
C ВП буферизированного аналогового вывода 7-10
D Буферизированная генерация сигналов конечной длительности 7-11
E Непрерывная буферизированная генерация сигналов 7-20
Итоги 7-31

Занятие 8

Ввод/вывод дискретных сигналов

A Дискретные (цифровые) сигналы 8-2
B Дискретный Ввод/Вывод 8-4
Итоги 8-10

Занятие 9

Счетчики

A Счетные сигналы 9-2
B Микросхемы - счетчики импульсов 9-5
C Операции со счётчиками 9-6
D Подсчет фронтов импульсов 9-8

E Дополнительные возможности подсчета фронтов 9-12
F Генерация импульсов 9-17
G Измерение параметров импульсов 9-26
H Измерения частоты 9-31
I Измерение положения 9-36
Итоги 9-41

Занятие 10
Синхронизация

A Явное управление последовательностью выполнения задачи в NI-DAQmx 10-2
B Синхронизация внутри устройства сбора данных 10-8
C Синхронизация нескольких устройств сбора данных 10-26
Итоги 10-34

Занятие 1
Обзор преобразователей, сигналов и согласования сигналов

На этом занятии рассказывается об основах технологии сбора данных (Data Acquisition - DAQ).

Задачи:

A. Изучить основы сбора данных (DAQ)
B. Ознакомиться с основами работы измерительных преобразователей
C. Ознакомиться с типами сигналов
D. Ознакомиться с согласованием сигналов

A. Обзор системы сбора данных

Назначением системы сбора данных (Data Acquisition - DAQ) является измерение параметров физического явления, такого как свет, температура, давление или звук. Система сбора данных состоит из следующих элементов:

- Измерительный преобразователь (датчик)
- Сигнал
- Согласование сигнала
- Устройство сбора данных
- Драйвер и программное приложение

Используя эти пять составляющих элементов, вы можете ввести исследуемый сигнал в компьютер для дальнейшего анализа и представления результатов.

B. Измерительные преобразователи (датчики)

Сбор сигнала – это процесс преобразования физического явления в данные, которые затем может использовать компьютер. Любое измерение начинается с использования преобразователя или датчика, преобразующего физическое явление в электрический сигнал. Датчики могут создавать электрический сигнал под действием таких величин, как температура, усилие, звуковые колебания или интенсивность света. В следующей таблице перечислены некоторые из наиболее распространенных преобразователей.

Явление	**Преобразователь**
Температура	Термопары Термочувствительные сопротивления (терморезисторы) Термисторы Датчики на интегральных схемах
Свет	Вакуумные фотодатчики Фоторезисторы Фотодиоды Приборы с зарядовой связью
Звук	Микрофоны
Сила и давление	Тензодатчики Пьезоэлектрические измерительные преобразователи Динамометрические элементы
Положение (смещение)	Потенциометры Линейные индуктивные датчики на основе дифференциального трансформатора Оптические датчики положения
Расход жидкости	Манометры-расходомеры Вертушечные расходомеры Ультразвуковые расходомеры
Кислотность	pH электроды

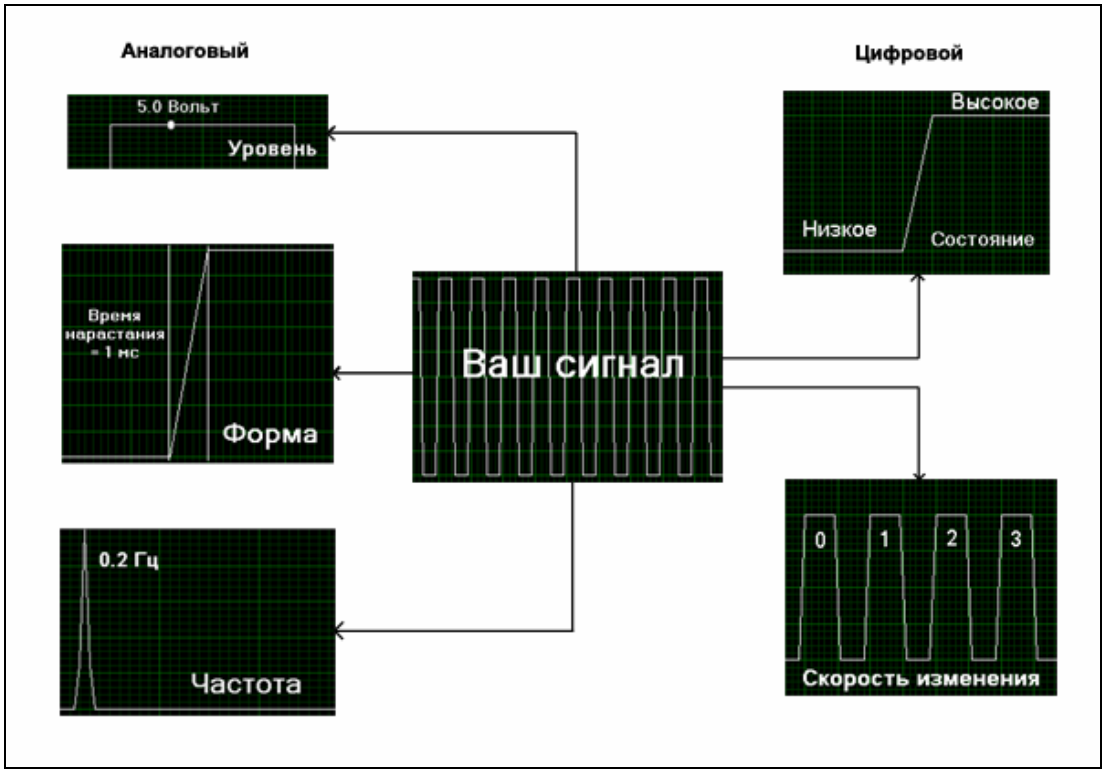
Типы преобразователей

Преобразователи используются для различных приложений таких, например, как измерение температуры, давления, расхода жидкости. Для получения более подробной информации о датчиках и том, где их можно приобрести, вы можете посетить страничку в Интернете ni.com/sensors.

Различные датчики нуждаются в особых условиях для преобразования физического явления в измеримый сигнал. Например, для измерения температуры при помощи терморезистора необходим ток возбуждения. Термопара не требует тока возбуждения, однако ей нужна компенсация холодного спая. При измерении деформации тензодатчиками используют сборку резисторов, называемую мостом Уитстона (или тензометрическим мостом). Перед установкой системы вы должны знать, имеет ли используемый преобразователь какие-либо специальные требования. Подробности о спецификациях и режимах работы датчиков лучше всего заранее выяснить у их поставщика.

C. Сигналы

При помощи датчиков вы преобразуете физическое явление в сигнал. Не все сигналы измеряются одинаковым образом, поэтому, прежде всего вам необходимо разделить сигналы на два типа: аналоговые и дискретные (цифровые).
После того, как это сделано, решите для себя, какую информацию вы хотите извлечь из сигнала. Возможные типы информации, которые вы можете получить из сигнала, следующие: состояние, скорость изменения, уровень, форма и частота.



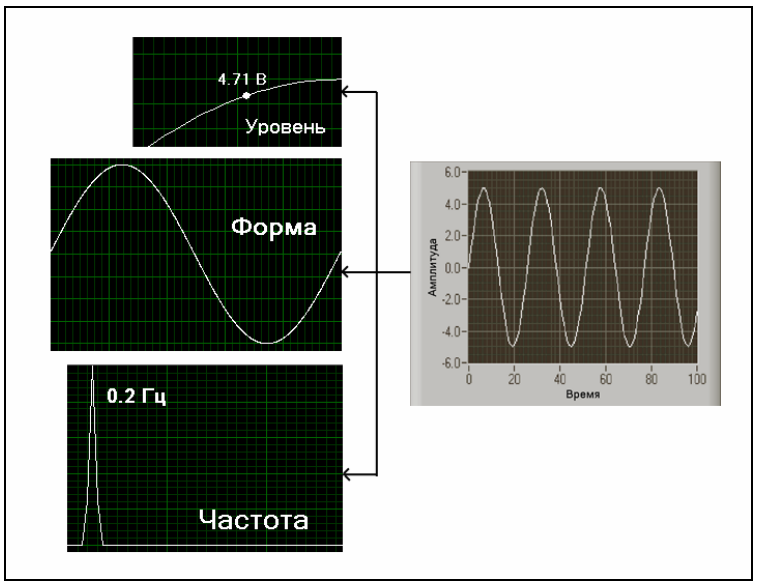
Примечание Данное обсуждение предполагает, что вы принимаете (вводите) сигнал, однако большинство пунктов справедливо и для генерации (вывода) сигналов. Единственное отличие между получением и генерацией сигналов состоит в том, что при генерации сигналов с определенной частотой вам не нужно производить какого бы то ни было анализа.

Аналоговые сигналы

В отличие от дискретного, аналоговый сигнал может иметь любой уровень напряжения в зависимости от времени. Поскольку аналоговый сигнал может быть в любом состоянии в любой момент времени, физические свойства, которые вы будете измерять, отличаются от тех, которые измеряют в цифровом сигнале.

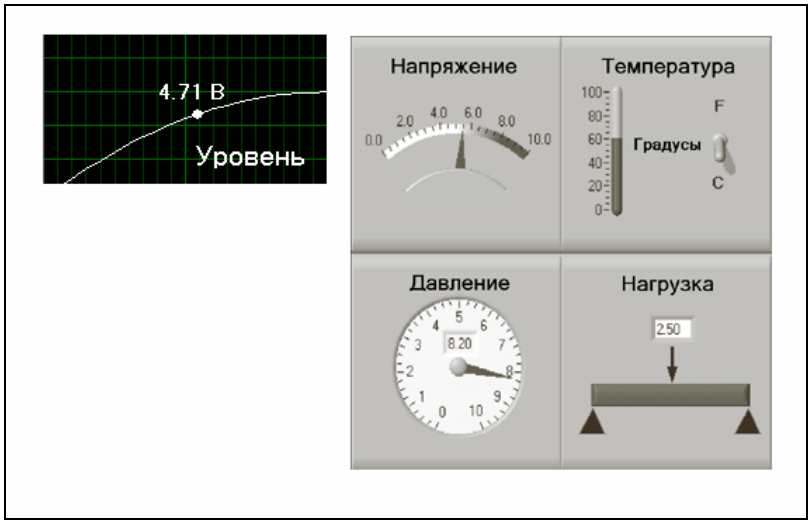
Информация в аналоговом сигнале

Вы можете измерять уровень, форму и частоту аналогового сигнала, как это показано на следующей иллюстрации.



- **Уровень**—Измерение уровня напряжения аналогового сигнала похоже на измерение состояния цифрового сигнала. Отличие в том, что аналоговый сигнал может иметь любой уровень напряжения, в то время как цифровой может принимать два фиксированных уровня: 0 либо 5 вольт.
- **Форма**—Измерение формы сигнала часто является очень важным, поскольку аналоговые сигналы могут иметь любое значение в каждый момент времени. Например, синусоидальная волна отличается от пилообразной. Измерение формы сигнала предоставляет информацию для анализа других параметров сигнала, таких как пиковые (амплитудные) значения, параметры фронта или среднее значение.
- **Частота**—Измерение частоты аналогового сигнала похоже на измерение частоты цифрового сигнала. Однако непосредственно померить частоту аналогового сигнала вы не сможете. Вам понадобится программный анализ - обычно это преобразование Фурье - чтобы выделить частотную информацию.

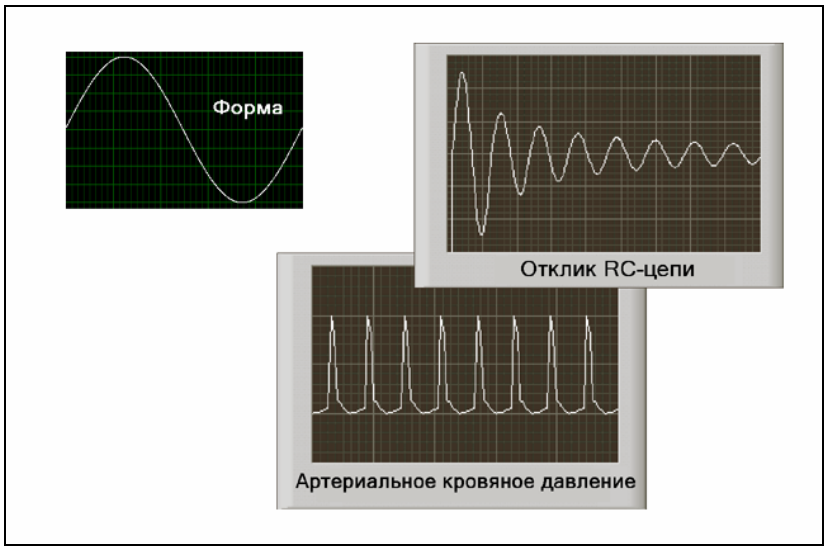
Уровень большинства сигналов не сильно изменяется с течением времени. При этом сигнал обычно нужно измерять с высокой точностью. Вам для этого понадобится устройство сбора данных с большим разрешением, но небольшой частотой выборки. Используя различные преобразователи (датчики), вы можете измерять напряжения источников питания, температуру в смесительном баке, давление внутри шланга или нагрузку на часть механизма, как показано на следующей иллюстрации.



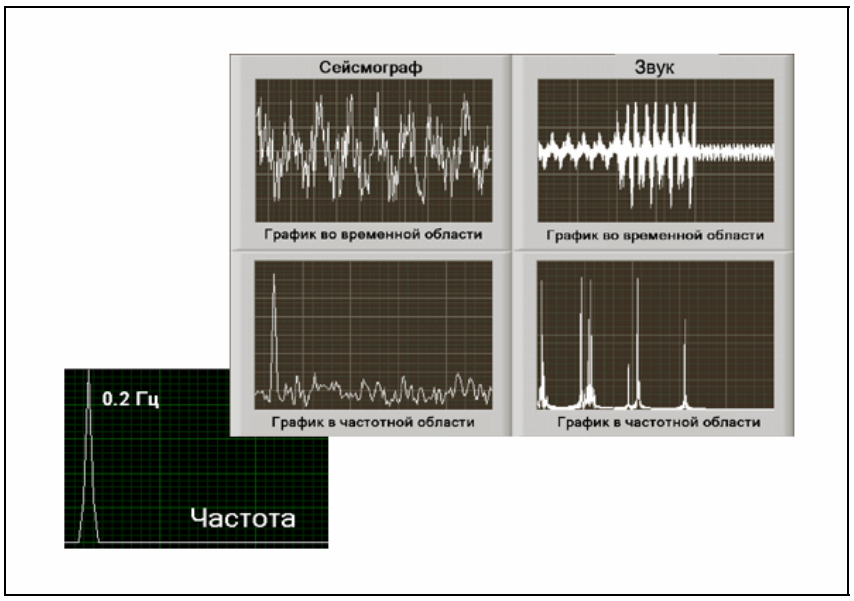
Измеряя форму сигнала, вы получаете зависимость уровня сигнала от времени. Некоторые сигналы очень быстро меняются со временем, а вам опять нужно с высокой точностью измерять их уровень. Для таких сигналов необходимо использовать устройство сбора данных с большим разрешением и высокой скоростью выборки.

Большое количество примеров измерения формы сигналов можно найти в медицинской, электронной и автомобильной промышленности - от измерения параметров сердцебиения и измерения видеосигналов до измерения вибрации пружины. После ввода сигнала в компьютер вы сможете проанализировать его форму для выделения необходимой информации.

Например, при измерении кровяного давления наиболее информативны пиковые значения. Однако из-за наличия постоянной времени цепи сопротивление-конденсатор (RC – цепочка) вам скорее придется работать с зависимостью амплитуды от времени, как это показано на рисунке ниже.



При измерении частоты сигнала опять необходима зависимость сигнала от времени. Многие сигналы очень быстро меняются во времени, и при этом вам нужно с высокой точностью измерять частоту сигнала. Поэтому необходимо использовать устройство сбора данных с большим разрешением и высокой скоростью дискретизации. Получив сигнал в зависимости от времени (представление сигнала во временной области), вы можете получить и его зависимость от частоты (в частотной области) при помощи программного обеспечения. LabVIEW предлагает все необходимые программные средства анализа, как показано на следующем рисунке.



Дискретные сигналы

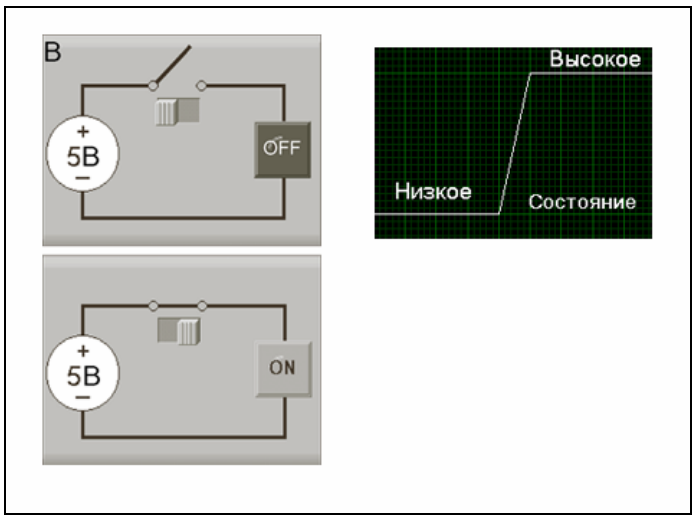
Дискретные (цифровые) сигналы имеют два возможных состояния – «включено» (высокий уровень напряжения, состояние «истина») и «выключено» (низкий уровень напряжения, состояние «ложь»). В современной технике дискретные сигналы часто представлены сигналами транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ-сигналы). Технические условия ТТЛ сигналов определяют уровень напряжения от 0 до 0.8 вольт как «низкий», а уровень напряжения от 2 до 5 вольт как «высокий». Большинство цифровых устройств принимают любой ТТЛ-совместимый сигнал.

Информация в дискретном сигнале

В дискретном сигнале можно измерить только два параметра: состояние (уровень) и скорость изменения.

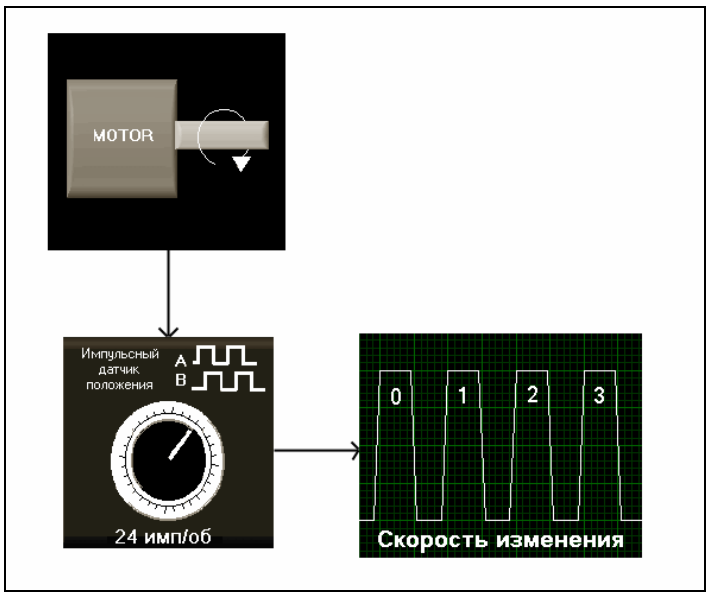
- **Состояние** — Цифровой сигнал имеет два возможных состояния (уровня): «включено» и «выключено». Поэтому один из возможных для измерения параметров – это проверка состояния: «включено» или «выключено».
- **Частота (скорость изменения)** — Состояние цифрового сигнала также может изменяться со временем. Поэтому другой измеримый параметр – это скорость изменения состояний сигнала с течением времени.

Рассмотрим следующий пример измерения состояния дискретного сигнала. Предположим, у вас имеется переключатель, который вы хотите контролировать. Этот переключатель управляет включением и выключением света.



Когда переключатель разомкнут, вы измерите 0 вольт («выключено»). Когда переключатель замкнут, вы измерите 5 вольт («включено»). Измеряя состояние дискретного сигнала, можно определить, зажегся свет или нет.

Теперь рассмотрим следующий пример измерения частоты дискретного сигнала. Предположим, что у вас есть мотор, и вы хотите определить, насколько быстро вращается вал мотора.



Устройство кодирования (энкодер) по углу поворота – это датчик, преобразующий информацию о вращательном движении вала мотора в дискретный сигнал. Когда вал вращается, энкодер генерирует два цифровых сигнала. Каждый сигнал представляет собой серию чередующихся высоких и низких состояний, которую называют последовательностью импульсов (pulse train). При определенном повороте вала генерируется импульс. Величина угла поворота вал, приходящаяся на один импульс, зависит от устройства энкодера. Например, испытательная коробка DAQ Signal Accessory, используемая в данном курсе, содержит энкодер, генерирующий 24 импульса за один полный оборот ручки (вала). Измеряя частоту импульсов в одной из последовательностей, вы можете определить насколько быстро вращается вал. Измеряя обе последовательности импульсов, можно определить не только скорость вращения вала, но также и направление вращения.

Упражнение1-1 ВП Пример сигнала

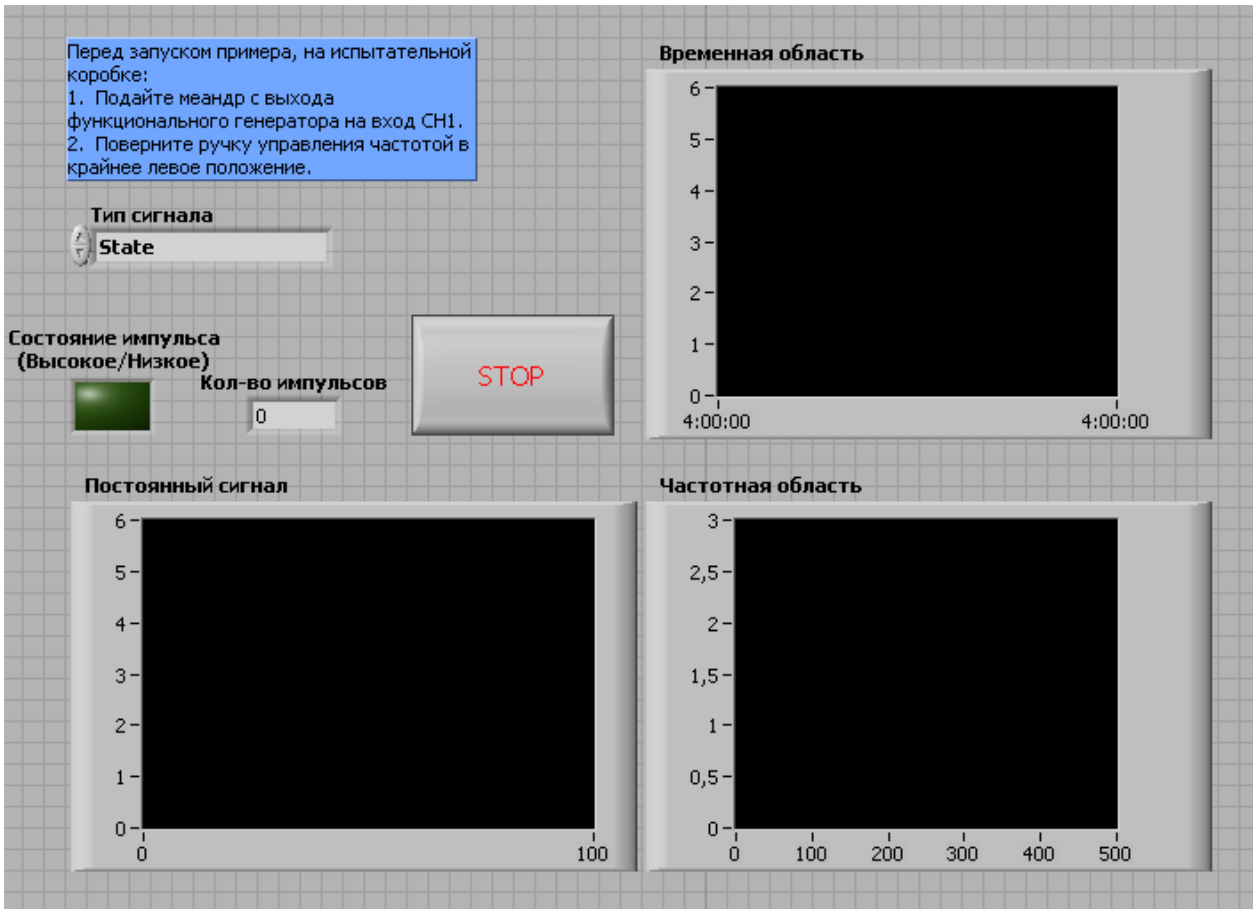
Цель: Измерить состояние, скорость изменения, уровень, форму и частоту одного сигнала.

1. Произведите следующие подключения и настройки на испытательной коробке (DAQ Signal Accessory):

   a. Подайте прямоугольный сигнал с генератора функций (Function Generator) на аналоговый вход 1 (analog input).

   b. Поверните ручку управления Подстройка частоты (**Frequency Adjust)** в крайнее левое положение. Убедитесь, что переключатель частотного диапазона (**Frequency Range)** установлен в положение 100 Гц – 10 кГц.

2. Откройте ВП Signals Example.vi, расположенный в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`. Этот ВП измеряет состояние, скорость изменения, уровень, форму и частоту прямоугольного сигнала, поданного вами на аналоговый ввод 1, как показано на следующей лицевой панели.



3. Запустите ВП.

4. Измените значение элемента управления **Тип Сигнала** (**Signal Class)** на **Цифровой Вкл/Выкл** (**Digital On/Off)** нажатием на кнопку прокрутки значений, находящуюся в его левой части. Индикатор состояния импульса Pulse State (ON/OFF) должен мерцать.

Примечание. Вы подаете прямоугольный сигнал на канал аналогового ввода, а не в цифровую линию. Так, в этом примере состояние сигнала определяется не на основе ТТЛ логики, где уровень сигнала от 0 до 0.8 вольт считается низким («выключено»), а уровень сигнала от 2 до 5 вольт – высоким («включено»). Вместо этого здесь любое значение с уровнем ниже 2.5 вольт – это состояние «выключено», а выше 2.5 вольт – «включено».

5. Измените значение элемента управления **Тип сигнала** на **Цифровой Импульс** (**Digital Pulse)**. Значение индикатора **количества импульсов** должно увеличиться.

Примечание Вы подали прямоугольный сигнал на канал аналогового ввода, а не на счетчик. Поэтому в данном примере счет импульсов идет не по фронту сигнала, как это было бы в случае счетчика. Значение на индикаторе количества импульсов (**Pulses Counted)** возрастает всякий раз, когда величина сигнала становится большей 2.5 вольт.

6. Измените значение регулятора **Тип сигнала** на **Аналоговый Постоянного Тока (Analog DC)** нажатием на кнопку прокрутки, находящуюся в его левой части. Развертка осциллограммы медленно меняющихся сигналов (DC signal) должна отобразить точки на уровнях 0 и 5 вольт. Развертка не покажет форму или частоту сигнала, а только уровень. При измерении уровня сигнала горизонтальная развертка производится относительно условной временной оси, значений на которой вы даже не видите. При амплитудных измерениях скорость сбора данных не играет такой важной роли, как точность. Поэтому при измерении уровня прямоугольного сигнала в данном примере используется программная синхронизация аппаратуры сбора данных.

7. Измените значение регулятора **Тип сигнала** на **Временная Область** (**Time Domain)**. График осциллограммы (time-domain graph) покажет последовательность импульсов. Для отображения формы сигнала скорость сбора данных должна быть очень большой. Чтобы скорость сбора данных была достаточной для восстановления формы сигнала, в данном примере используется аппаратная синхронизация сбора данных.

8. Переключите **Тип сигнала** на **Частотная Область** (**Frequency Domain)**. График осциллограммы в частотной области (frequency-domain graph) будет содержать интенсивный пик в районе 100 Гц. Запомните, что для получения информации о частоте меандра потребовался анализ при помощи программного обеспечения. LabVIEW вычисляет спектр мощности входного сигнала и строит его на графике. Анализ спектра мощности – это один из способов измерения частот, присутствующих в сигнале.

9. Остановите и закройте ВП. Не сохраняйте изменений.

Конец упражнения 1-1.

D. Общее представление о согласовании сигналов

Вы не всегда сможете подключить сигнал непосредственно к устройству сбора данных. Возможно, что для точного измерения вам понадобится дополнительно изменить сигнал, чтобы согласовать его параметры с требованиями ко входному сигналу устройства сбора данных.

Согласование сигналов – одна из наиболее важных технологий в системе измерений и автоматизации. Она обеспечивает интерфейс между сигналами/датчиками и измерительной системой. Используя внешний интерфейс согласования сигналов компании National Instruments, вы объедините многочисленные технологии в одной платформе, увеличивая тем самым число и типы доступных измерений.

В зависимости от скорости сбора данных, типов сигналов/датчиков и числа каналов вашего приложения вы можете выбрать системы согласования сигналов SCXI или SCC компании National Instruments.

Для приложений с большим числом каналов или систем, требующих больших скоростей сбора данных, вы можете выбрать модули согласования сигналов для контрольно-измерительной аппаратуры (Signal Conditioning eXtensions for Instrumentation – SCXI). SCXI – проверенная временем платформа, используемая инженерами и учеными с 1991 года и насчитывающая в своём составе более 25 модулей.

Система Signal Conditioning Components (SCC) компании National Instruments – идеальное решение для мобильных измерительных комплексов, требующих небольшого или среднего количества каналов. Вы можете выбрать подходящее решение из более чем 30 одно- и двухканальных модулей.

За большей информацией о SCXI решениях и другом оборудовании для согласования сигналов обращайтесь на Интернет страничку `ni.com/sigcon`.

Большинству измерительных преобразователей для выполнения работы необходим некоторый класс дополнительного внешнего оборудования. Например, терморезисторам необходим ток возбуждения, тензодатчикам необходима мостовая схема, состоящая из резисторов и называемая мостом Уитстона. Согласование сигналов – это процесс измерения и управления сигналами с целью улучшения точности, создания развязки, фильтрации и т.д.

Для измерения сигналов, поступающих от датчиков, вам необходимо преобразовать их в форму, наиболее подходящую для устройств сбора данных. Например, выходное напряжение большинства термопар очень мало и чувствительно к шуму. Поэтому вам понадобится предварительное усиление сигнала перед его оцифровкой. Усиление – одна из форм согласования сигналов. Самыми распространенными типами согласования сигналов являются усиление, линеаризация, возбуждение (запитка) преобразователя и гальваническая развязка (изоляция).

На рисунке 1-1 показаны наиболее распространенные типы измерительных преобразователей и сигналов, а также типы согласования сигналов, которые каждый из них требует.

Рисунок 1-1. Распространенные типы преобразователей/сигналов и типы согласования.

Усиление

Усиление – наиболее распространенный тип согласования сигналов. Усиление электрических сигналов увеличивает точность в результирующем оцифрованном сигнале и уменьшает влияние шумов. Типичным примером является сигнал с термопары, напряжение которого находится в диапазоне нескольких милливольт.

Если вы подадите сигнал от термопары непосредственно на устройство сбора данных (УСД), то изменение температуры на один - два градуса такая система может не обнаружить. Используя усиление, вы получите сигнал, лучше соответствующий рабочему диапазону УСД. Усиление сигнала может осуществляться непосредственно самим устройством сбора данных или внешним усилителем – например, модулем SCXI (помеченного на рисунке 1-2 как «Внешний Усилитель») в непосредственной близости от источника сигнала.

Для достижения наибольшей возможной точности и увеличения отношения сигнал/шум (signal-to-noise ratio – SNR) сигнал необходимо усилить таким образом, чтобы его максимальная амплитуда равнялась максимальному диапазону входного сигнала аналого-цифрового преобразователя УСД.

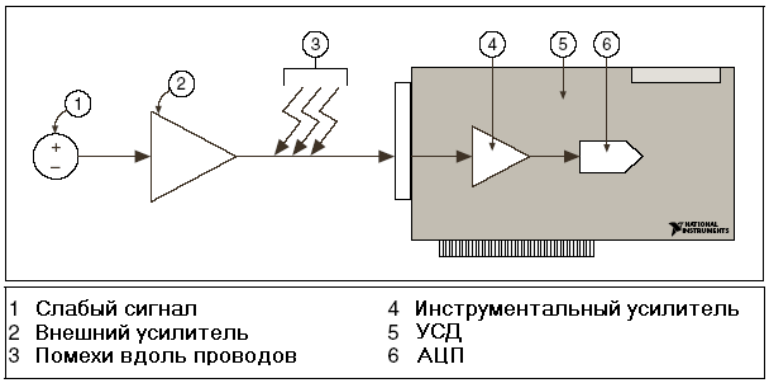


Рисунок 1-2. Усиление сигнала вблизи его источника с целью увеличения отношения сигнал/шум

В случае усиления сигнала самим УСД измеряться и оцифровываться будет не только сам сигнал, но и помехи, которые могут наводиться на соединительные провода, что ухудшит соотношение сигнал/шум. Усиление сигнала в непосредственной близости от его источника с использованием внешнего усилителя (например, модуля SCXI) уменьшает вредное влияние шума на сигнал, и в этом случае оцифрованный результат точнее соответствует слабому исходному сигналу. Обратитесь на страницу `ni.com/info` и введите информационный код `exd2hc` для получения дополнительной информации об аналоговых сигналах.

Полезный совет Существует несколько способов уменьшения шума:

- Использовать экранированные кабели или витую пару проводов.
- Минимизировать длину проводов для уменьшения помех, которые могут на них наводиться.
- Располагать сигнальные провода вдали от силовых кабелей переменного тока и компьютерных мониторов для уменьшения наводок на частоте 50 или 60 Гц.

Отношение сигнал/шум

Отношение сигнал/шум (Signal to Noise Ratio – SNR) показывает уровень шума в результирующем сигнале относительно полезного сигнала и определяется как напряжение сигнала, поделенное на напряжение шума (помехи). Чем больше это отношение, тем лучше. Как показано в следующей таблице, максимальное отношение сигнал/шум достигается для сигнала, усиленного только внешним усилителем, и минимальное - для сигнала, усиленного только в устройстве сбора данных.

	Напряжение сигнала	Коэффициент усиления SCXI	Помехи в подводящих проводах	Усиление DAQ устройства	Оцифрованное напряжение	Отношение сигнал/шум
Усиление только в DAQ устройстве	0.01 В	нет	0.001 В	×100	1.1 В	10
Усиление в SCXI и DAQ устройстве	0.01 В	×10	0.001 В	×10	1.01 В	100
Усиление только в SCXI	0.01 В	×100	0.001 В	нет	1.001 В	1000

Другие типы согласования сигналов

Существует несколько других типов согласования сигналов.

- **Линеаризация** – Многие датчики (измерительные преобразователи) имеют нелинейную зависимость выходного сигнала от изменения измеряемого физического явления. Например, изменение напряжения термопары на 10 мВ обычно не означает изменения температуры на 10 градусов. У большинства датчиков есть таблицы пересчета, которые указывают, каким образом масштабировать их показания для получения точных результатов. Линеаризацию датчика можно осуществить как при помощи аппаратной части УСД, так и программно. LabVIEW может линеаризовать уровни напряжений с датчиков с тем, чтобы вы могли масштабировать напряжения для измерения физического явления. В LabVIEW содержатся масштабные функции для преобразования напряжений с тензодатчиков, термопар, терморезисторов и термисторов.

- **Возбуждение («запитка») преобразователя** – Системы согласования могут генерировать сигналы возбуждения, необходимые для работы некоторых датчиков. Тензодатчикам, терморезисторам и акселерометрам необходимы внешние напряжение и ток, соответственно, для возбуждения их цепей при измерении физических явлений.

- **Гальваническая развязка («изолирование»)** – Еще один распространенный тип согласования – гальваническое изолирование потенциалов датчиков от цепей компьютера в целях электробезопасности. Исследуемый сигнал может иметь высокий потенциал или пиковые выбросы напряжения относительно потенциала компьютера, которые могут повредить его схему или нанести вред оператору, поэтому старайтесь не присоединять датчики непосредственно к устройству сбора данных без какой-либо гальванический развязки (изоляции).
- Развязка также часто используется для устранения влияния различий потенциалов заземления на процесс измерения УСД. Когда УСД и источник сигнала имеют разные потенциалы земли, может возникнуть паразитная электрическая цепь с замыканием через землю. Такие цепи могут служить причиной ошибок в цифровом представлении измеренного сигнала. Более того, если разность потенциалов земли источника сигнала и УСД велика, можно повредить измерительную систему. Чтобы избежать появления цепи (контура) с замыканием через землю и быть уверенным в правильном измерении сигнала, используйте изолирующие SCXI модули.

- **Фильтрация** – Использовать фильтрацию можно для удаления нежелательных компонент (помех) из принятого сигнала. Большая часть помех создается цепями переменного тока, например, блоком питания компьютера или электроосветительным оборудованием. Помехи от промышленных цепей переменного появляются на частоте 50 Гц. Для удаления такой помехи из сигнала применяйте фильтр низких частот с частотой среза менее 50 Гц. Фильтрацию можно осуществлять как при помощи аппаратных средств, так и программно.

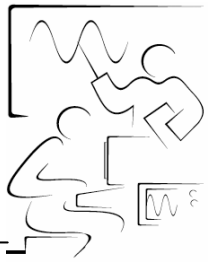
Итоги

Система сбора данных состоит из пяти компонент:

- Датчики (измерительные преобразователи) преобразуют физическое явление в измеримый электрический сигнал.
- Сигналы могут быть дискретными (цифровыми) и аналоговыми. В зависимости от типа сигнала вы можете измерить состояние, скорость изменения, уровень, форму или частоту сигнала.
- Согласование сигналов делает процесс измерения сигналов устройствами сбора данных (УСД) более простым и точным.
- Оборудование для сбора данных
- Программное обеспечение

Примечания

Занятие 2
Оборудование и программное обеспечение систем сбора данных



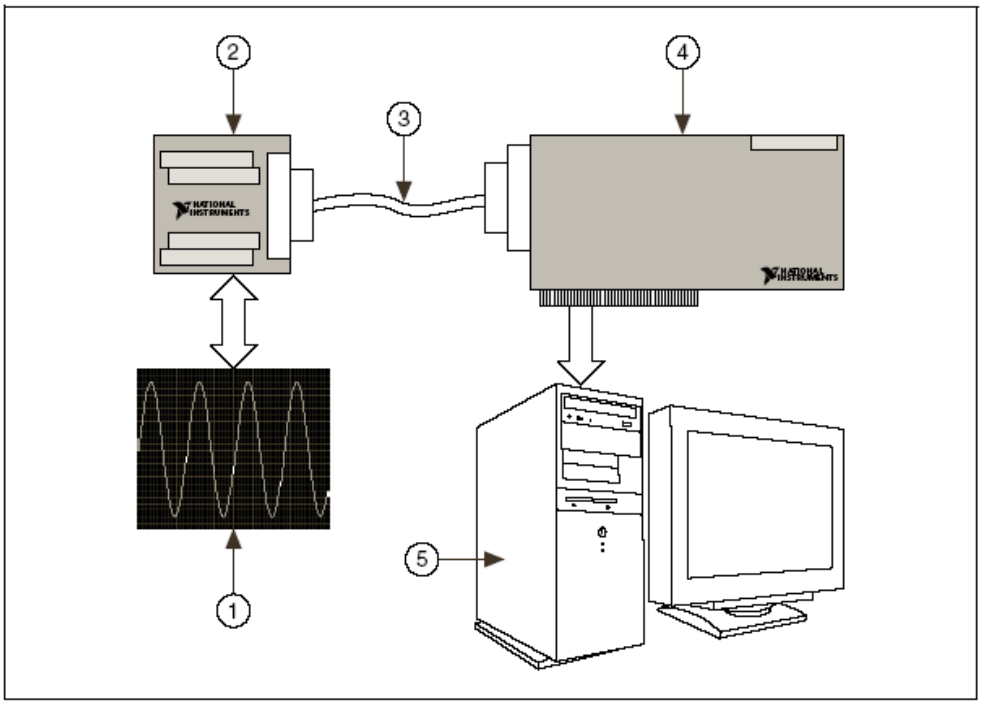
На данном занятии вы познакомитесь с оборудованием и программным обеспечением систем сбора данных.

Задачи:

A. Основные элементы аппаратной части в системах сбора данных
B. Компоненты DAQ-устройств и их использование
C. Что нужно учитывать при конфигурации оборудования
D. Программное обеспечение, которое можно использовать для настройки и управления системой сбора данных
E. Обзор виртуальных приборов NI-DAQmx и узлов свойств
F. Модель состояния задачи в NI-DAQmx

A. Обзор оборудования для сбора данных

Стандартная система сбора данных содержит три основных составляющих аппаратной части: терминальная коробка, кабель и устройство сбора данных, как показано на иллюстрации. В этом разделе описываются каждый из типов оборудования, а затем фокусируется основное внимание на компонентах DAQ-устройства и на том, какую функцию выполняет каждая часть. Также вы изучите важные особенности, которые надо иметь в виду при конфигурации DAQ-устройства.



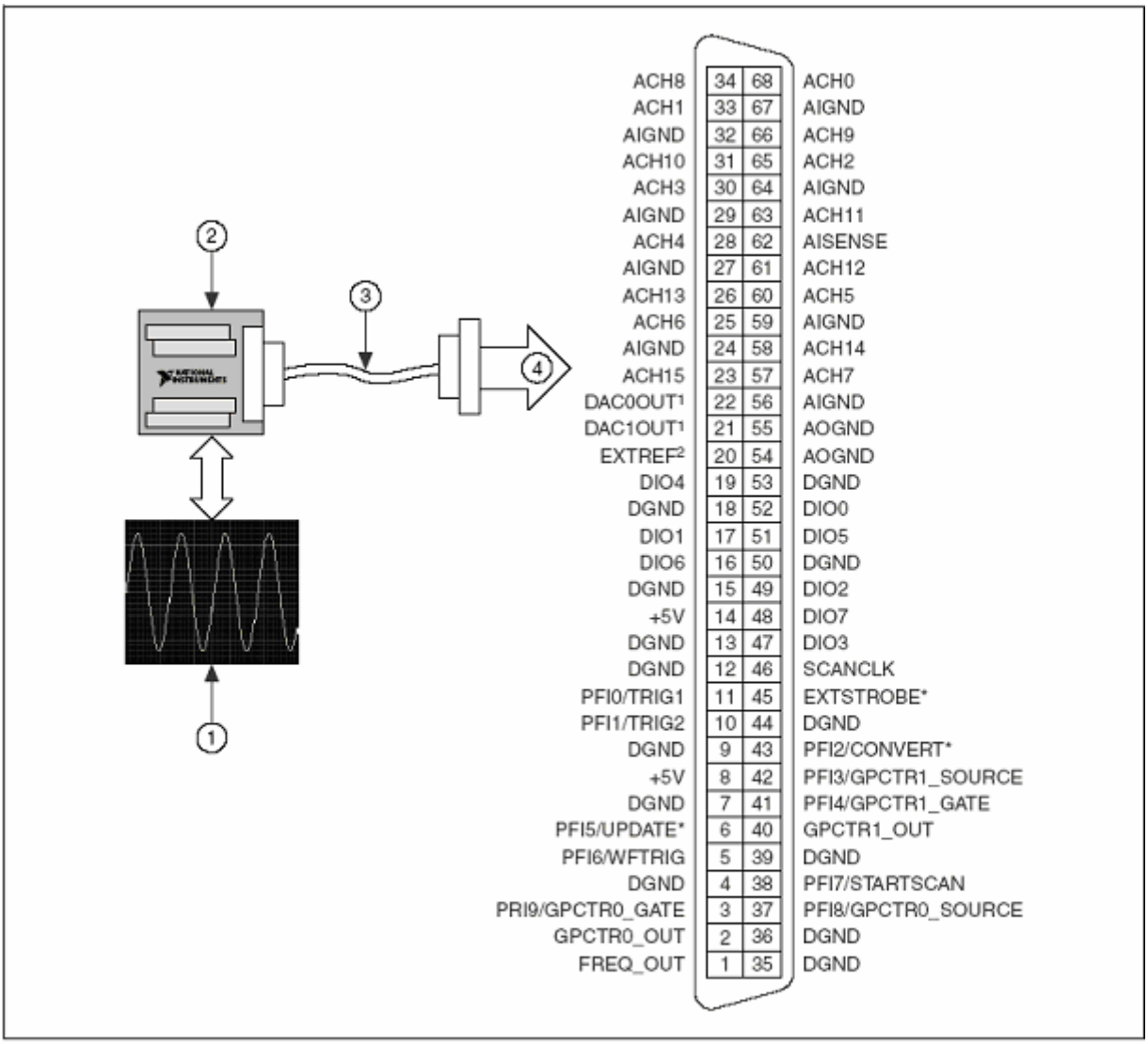
1 Сигнал
2 Терминальный узел
3 Кабель
4 УСД
5 Компьютер

Теперь, когда вы преобразовали физическое явление в измеряемый сигнал с использованием или без использования устройств согласования сигналов, вам необходимо ввести сигнал в компьютер. Для этого понадобится терминальная коробка, кабель, устройство сбора данных и компьютер. Это сочетание аппаратных средств превращает обыкновенный компьютер в систему для измерений и автоматизации.

Терминальная коробка и кабель

Терминальная коробка (терминальный блок) представляет собой устройство для подсоединения сигналов. Она состоит из винтовых или пружинных зажимов (клемм, терминалов) для подсоединения сигналов и разъема для подключения кабеля, соединяющего терминальную коробку и DAQ-устройство. Терминальные коробки содержат 100, 68 или 50 клемм. Тип терминальной коробки, который вы можете выбрать, зависит от двух факторов: самого устройства и числа сигналов, которые вы собираетесь измерять. Терминальная коробка с 68 зажимами содержит больше клемм заземления, к которым можно присоединять сигнал, чем коробка с 50 зажимами. Наличие большего количества клемм заземления предотвращает необходимость совместного использования проводов для заземления, что могло бы привести к взаимному влиянию сигналов. На следующем рисунке показано расположение винтовых зажимов. Терминальные коробки

могут быть экранированными и неэкранированными. Экранированные терминальные коробки обеспечивают лучшую защиту от помех, наводок и шумов. Некоторые коробки содержат дополнительные элементы, такие как компенсацию холодного спая, необходимую для правильного измерения сигналов с термопары.

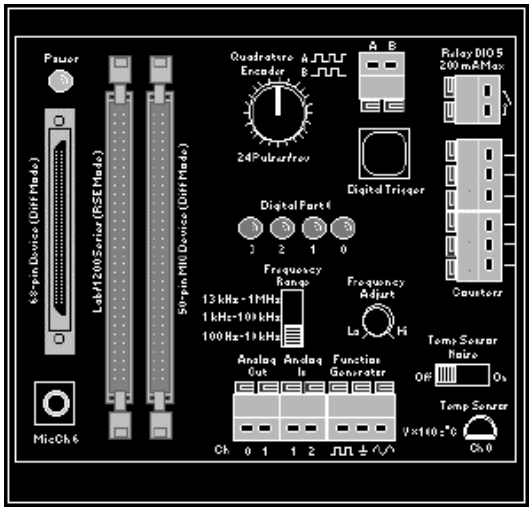


1 Сигнал
2 Терминальный **блок**
3 Кабель
4 68-контактный разъем

Кабель передает сигнал от терминальной коробки к DAQ-устройству. Кабели имеют конфигурации с 100, 68 и 50 контактами. Выбор конфигурации зависит от терминальной коробки и устройства сбора данных, которые вы используете. Кабели, как и терминальные коробки, могут быть экранированными и нет. За большей информацией об особых типах терминальных коробок и кабелей обращайтесь к разделу сбора данных (DAQ) каталога продукции National Instruments или на сайт в Интернете `ni.com/products`.

Испытательная коробка для устройств сбора данных

На следующей иллюстрации показана терминальная коробка, которую вы будете использовать в течение этого курса, – испытательная коробка для устройств сбора данных (DAQ Signal Accessory).



Испытательная коробка для устройств сбора данных – специальная терминальная коробка, сконструированная для образовательно-демонстрационных целей. Она имеет три кабельных разъема для различных типов устройств сбора данных и пружинные клеммы для подсоединения сигнальных проводов. Вы можете использовать три канала аналогового ввода, один из которых присоединен к температурному датчику, и два канала аналогового вывода.

Испытательная коробка содержит генератор функций, имеющий переключатель частотного диапазона и ручку управления частотой. Генератор функций может генерировать синусоидальный и прямоугольный сигналы. Зажим заземления расположен между клеммами синусоидального и прямоугольного сигналов.

Кнопка цифрового триггера генерирует TTL импульс для запуска либо остановки операций аналогового ввода и вывода. При нажатии на кнопку триггера сигнал изменяется от +5 вольт до нуля и возвращается опять в прежнее состояние 5 вольт после отпускания кнопки. Светодиодные индикаторы работают в режиме обратной логики, так что, когда в линиях состояние «включено», индикаторы выключены и наоборот.

Испытательная коробка содержит квадратурный энкодер. После поворота ручки управления шифратором он генерирует две последовательности импульсов. Дополнительные клеммы предусмотрены для входных/выходных сигналов двух счетчиков DAQ-устройства. Испытательная коробка имеет также реле, разъём для термопары и гнездо для микрофона.

Устройство сбора данных

Большинство устройств сбора данных имеют четыре стандартных элемента: аналоговый ввод, аналоговый вывод, цифровой ввод/вывод и счетчики. Наиболее распространенными устройствами сбора данных компании National Instruments являются устройства E-серии.

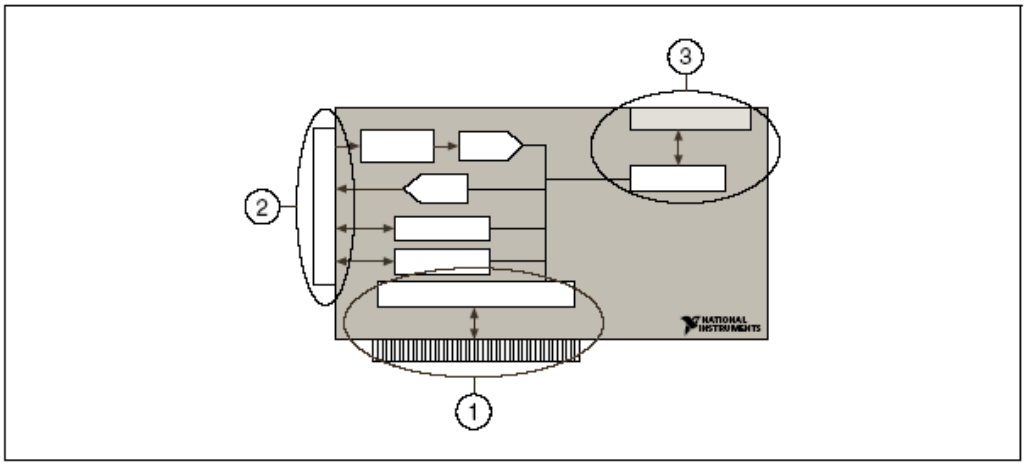
Типичное устройство E-серии содержит 16 каналов аналогового ввода, два канала аналогового вывода, 8 цифровых линий и два счетчика. Также National Instruments предлагает специальные наборы устройств для приложений, где платы E-серии неприменимы. Например, NI производит высокоскоростные цифровые устройства, осуществляющие синхронизированный цифровой ввод/вывод, высокоскоростные устройства аналогового вывода для генерации осциллограмм в различных режимах, устройства сбора динамических сигналов для анализа сильно изменяющихся сигналов в таких явлениях, как вибрация или гидролокация.

С устройства сбора данных измеряемый сигнал можно передать в компьютер посредством различных шин. Например, вы можете использовать DAQ-устройство, встроенное в PCI шину компьютера, DAQ-устройство, присоединенное к PCMCIA разъему портативного компьютера, или устройство, подсоединенное к компьютеру через USB порт.

Для создания мобильной, гибкой и неприхотливой измерительной системы вы можете использовать PXI/CompactPCI платформы. За большей информацией об особых типах DAQ-устройств обращайтесь к разделу сбора данных (DAQ) каталога продукции National Instruments или на страничку в Интернете `ni.com/products`.

B. Компоненты устройства сбора данных

На следующем рисунке отображены компоненты устройства сбора данных.



1 Интерфейс ввода/вывода в компьютер 3 Шина RTSI
2 Разъем ввода/вывода

Интерфейсы

Типичное DAQ-устройство имеет три интерфейса для получения и отправки сигналов: разъем ввода/вывода, интерфейс ввода/вывода в компьютер и системная шина взаимодействия в реальном масштабе времени (RTSI bus).

Разъем ввода/вывода – Разъем ввода/вывода – интерфейс, посредством которого сигнал поступает или выводится с DAQ устройства. Данный разъем может иметь 100, 68 или 50 контактов в зависимости от устройства. Один конец кабеля присоединяется к этому разъему, а другой – к терминальной коробке. Схему расположения контактов можно найти в документации к DAQ устройству.

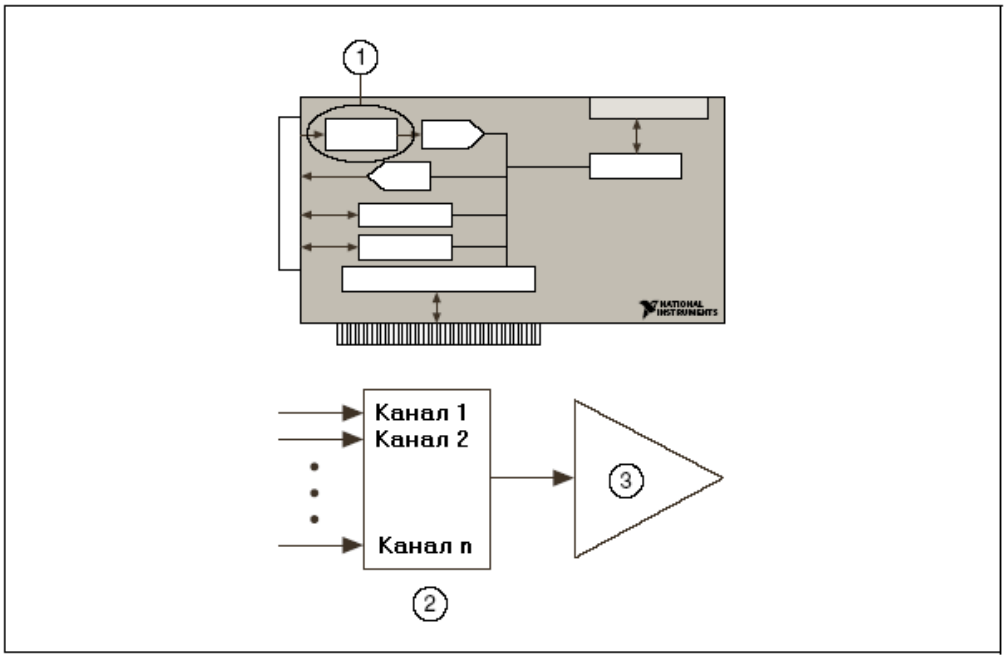
Интерфейс ввода/вывода в компьютер – Интерфейс ввода/вывода в компьютер передает информацию между DAQ устройством и компьютером. Интерфейс может изменяться в зависимости от протокола используемой шины. Например, в случае PCI шины существует контактная площадка, которая вставляется в разъем PCI, а для соединения по шине USB необходим кабель.

Шина RTSI - Шина RTSI распределяет и синхронизирует сигналы среди нескольких устройств сбора данных в одном компьютере. Например, если вы хотите, чтобы два устройства совершали операции аналогового ввода с одинаковой скоростью, вы можете разрешить совместное использование синхроимпульсов по RTSI шине. Тогда оба устройства будут использовать один и тот же синхросигнал. Если вы не используете платформу PXI, то для соединения устройств вместе вам понадобится RTSI кабель. Шасси PXI имеет заднюю объединительную панель, в которую вставляются устройства-модули и которая действует подобно встроенному RTSI кабелю для распределения сигналов среди всех модулей в шасси.

Схема аналогового ввода

После поступления на разъем ввода/вывода входной сигнал проходит через схему

аналогового ввода, а затем поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Схема аналогового ввода состоит из мультиплексора и инструментального усилителя. Следующий рисунок показывает детали схемы аналогового ввода.



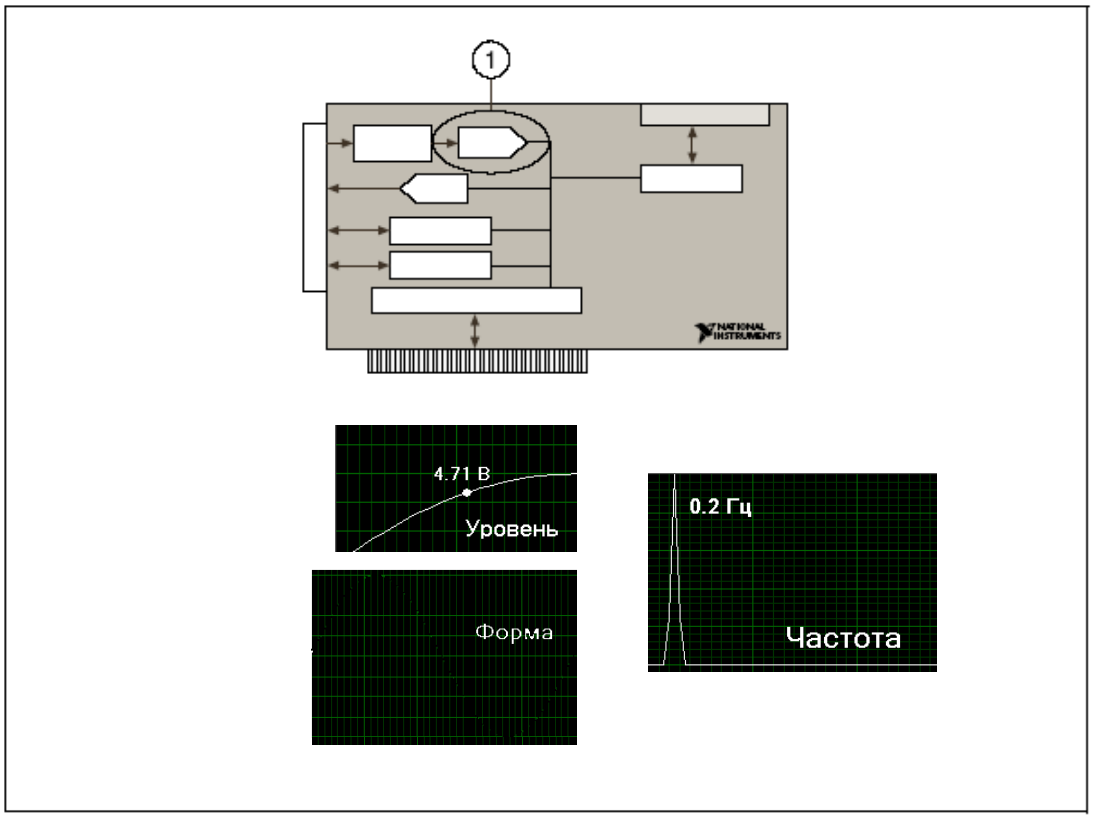
1 Схема аналогового ввода
2 Мультиплексор
3 Инструментальный усилитель

Мультиплексор – Мультиплексор – это коммутатор, подсоединяющий только один из нескольких входных каналов к инструментальному усилителю в данный момент времени. Когда вы получаете данные из нескольких каналов, мультиплексор чередует все каналы, подключая их по одному к усилителю. LabVIEW управляет порядком подключения мультиплексора входных сигналов к усилителю.

Инструментальный усилитель – Инструментальный усилитель может усиливать или ослаблять сигнал, поступающий на его вход. Его задачей является максимальная подстройка сигнала к рабочему диапазону АЦП. Когда усилитель усиливает или ослабляет сигнал, это называют изменением коэффициента усиления. Коэффициент усиления (КУ) – это мера усиления сигнала. Например, коэффициент усиления, равный двум, означает, что сигнал будет усилен в два раза. При КУ, равном 0.5, сигнал становится в два раза меньше, то есть ослабляется.

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП)

АЦП преобразует аналоговое напряжение в дискретное число, которое посредством компьютерного интерфейса ввода/вывода можно передать в компьютер для анализа. Для измерения аналогового сигнала схему аналогового ввода обычно объединяют с АЦП, так что вы можете измерить уровень, форму или частоту этого сигнала. Функциональные возможности аналогового ввода устройства сбора данных позволяют создавать различные приложения – от тестирования источников питания и измерения параметров сердцебиения, до анализа речи. Следующая иллюстрация показывает схему АЦП.

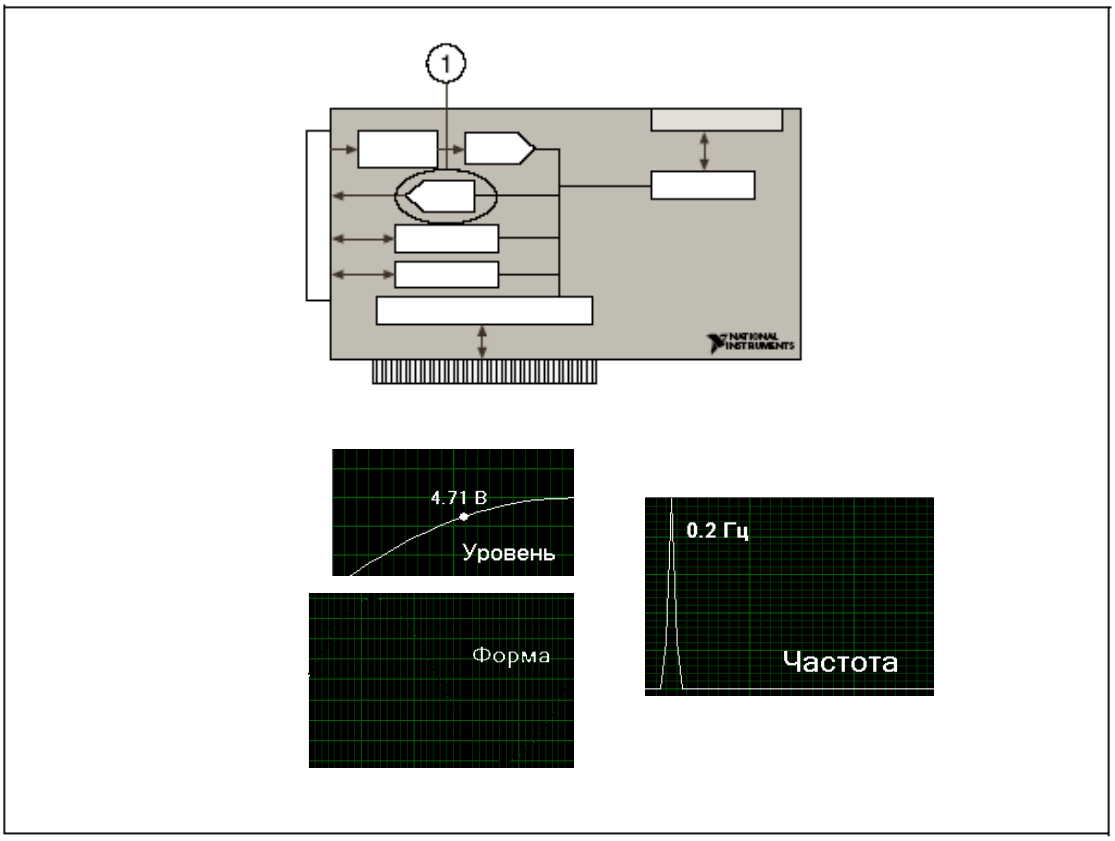


1 АЦП

Дополнительную информацию об АЦП можно найти в разделе *АЦП* Приложения А данного учебного пособия.

Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП)

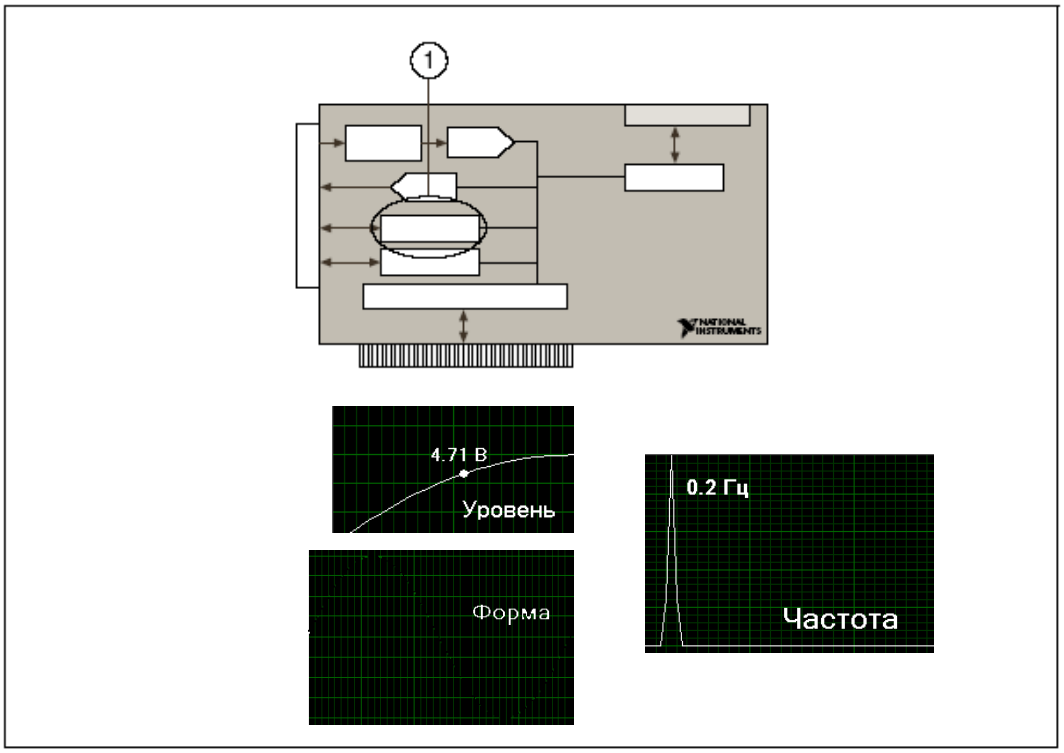
ЦАП производит операцию, противоположную АЦП. Дискретное число, которое вы генерируете на компьютере, посредством компьютерного интерфейса ввода/вывода поступает на ЦАП, который преобразует это число в аналоговый сигнал, выводящийся наружу через разъем ввода/вывода. ЦАП полезен при генерации постоянных сигналов (уровень), определенных тональных сигналов (частота) и осциллограмм (форма). Функциональные возможности аналогового вывода устройства сбора данных позволяют создавать различные приложения – от систем управления, использующих пропорциональное интегрально-дифференциальное (ПИД) регулирование, и систем управления сервоприводами до генерации последовательности определенных тонов для сирен или устройств аварийной сигнализации. Следующий рисунок показывает схему ЦАП.



1 ЦАП

Схема цифрового ввода/вывода

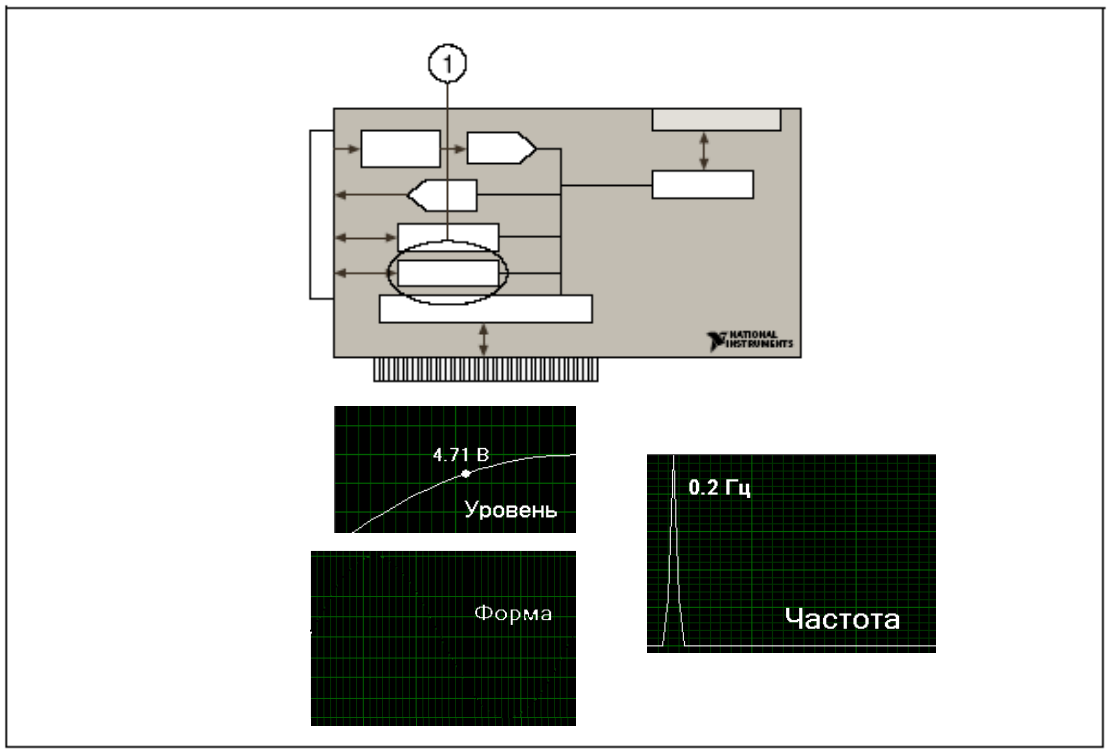
Схема цифрового ввода/вывода может выполнять функции и ввода и вывода. Типичное DAQ устройство E-серии содержит восемь цифровых линий для получения или генерации цифровых (дискретных) сигналов. Цифровые линии не содержат схем синхронизации или подтверждения установления связи. Поэтому они полезны для измерения состояния дискретного сигнала, но не скорости его изменения. Функциональные возможности цифрового ввода/вывода устройства сбора данных позволяют создавать различные приложения – от наблюдения за переключателем, чтобы увидеть, изменилось ли его состояние, до управления реле. Следующая иллюстрация показывает расположение и работу схемы цифрового ввода/вывода.



1 Схема цифрового ввода/вывода

Счетчик

Счетчики принимают или генерируют дискретные сигналы. Они содержат встроенные синхросигналы, называемые временными развертками, что делает их идеальным инструментом для измерения скорости изменения дискретных сигналов. Функциональные возможности счетчиков устройства сбора данных позволяют создавать различные приложения – от измерения частоты вращения вала двигателя до управления шаговым двигателем, путем генерации последовательности импульсов определенной частоты. Следующая иллюстрация показывает расположение и работу счетчика.



1 Схема счетчиков

C. Параметры систем сбора данных

Существует несколько параметров схем аналогового ввода и вывода, влияющих на конфигурацию устройства сбора данных.

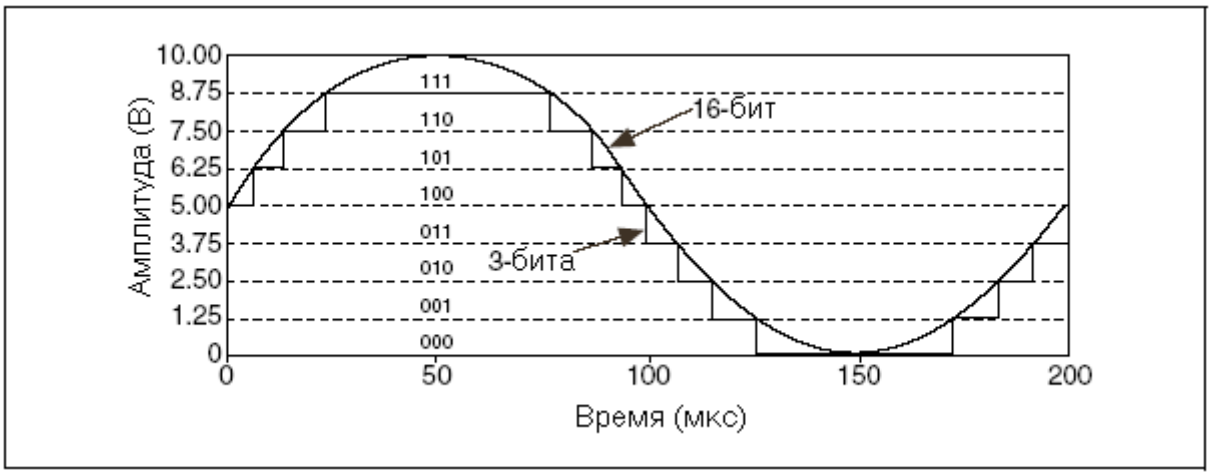
• Разрядность и рабочий диапазон АЦП

• Коэффициент усиления инструментального усилителя

• Сочетание разрядности, диапазона и усиления для вычисления такой характеристики, как разрешающая способность.

Разрядность

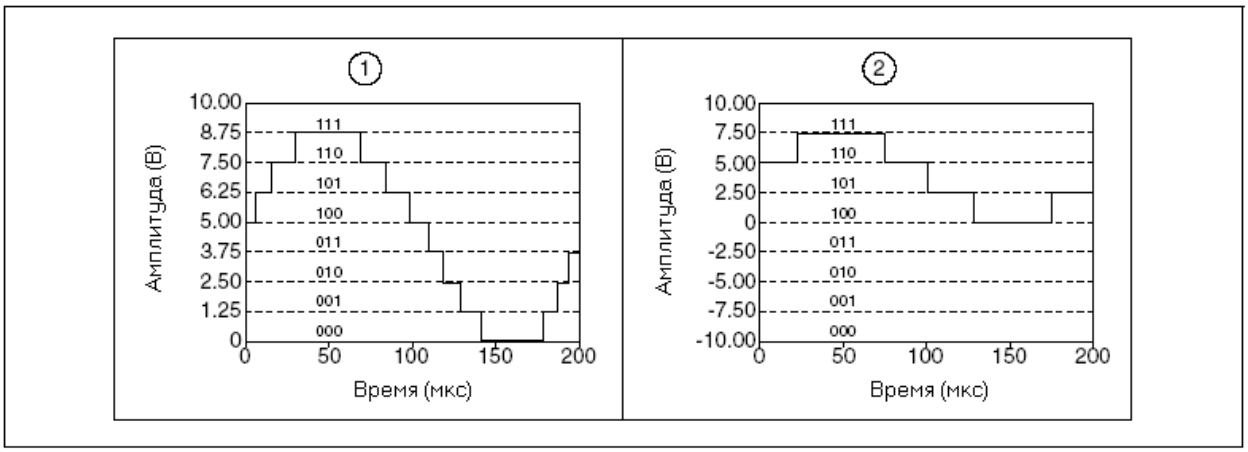
Число бит, используемых для представления аналогового сигнала, определяет разрядность АЦП. Разрядность DAQ-устройства напоминает отметки на измерительной линейке. Чем больше отметок на линейке, тем выше точность измерения. Чем больше разрядность DAQ-устройства, тем на большее число частей система делит рабочий диапазон АЦП, и, следовательно, можно зафиксировать меньшее изменение сигнала. 3 битный АЦП разделяет диапазон на 2^3 или 8 частей. Каждое деление представляется дискретным или цифровым кодом в диапазоне от 000 до 111. АЦП преобразует измерение аналогового сигнала в цифровой код. Следующий рисунок показывает дискретное представление 3-битовым АЦП синусоидальной волны с частотой 5 кГц. Цифровой сигнал в недостаточной мере представляет исходный сигнал, поскольку преобразователь имеет слишком мало цифровых делений для представления различных напряжений аналогового сигнала. Однако при увеличении разрешающей способности до 16 бит число делений возрастает с восьми (2^3) до 65536 (2^{16}), позволяя 16-битовому АЦП достигнуть высокой точности представления аналогового сигнала.



Рабочий диапазон устройства

Рабочим диапазоном называют минимальный и максимальный уровни аналогового сигнала, при которых АЦП может преобразовывать его в цифровую форму. Многие DAQ устройства имеют переменные рабочие диапазоны (обычно от 0 до 10 В и от -10 до 10 В). Поэтому вы можете подобрать рабочий диапазон, наиболее подходящий для данного сигнала с тем, чтобы воспользоваться всеми преимуществами максимального разрешения для точного измерения сигнала. Например, посмотрим на следующий рисунок. На первом графике отображено, что 3-битовый АЦП имеет восемь дискретных делений в однополярном диапазоне от 0 до 10 В. При выборе биполярного диапазона от -10 до 10 вольт (это показано на втором графике) тот же АЦП разделяет этот диапазон в 20 вольт

опять на восемь делений. Наименьшее измеряемое напряжение увеличилось с 1.25 до 2.50 вольт, поэтому правый график – это менее точное представление сигнала.

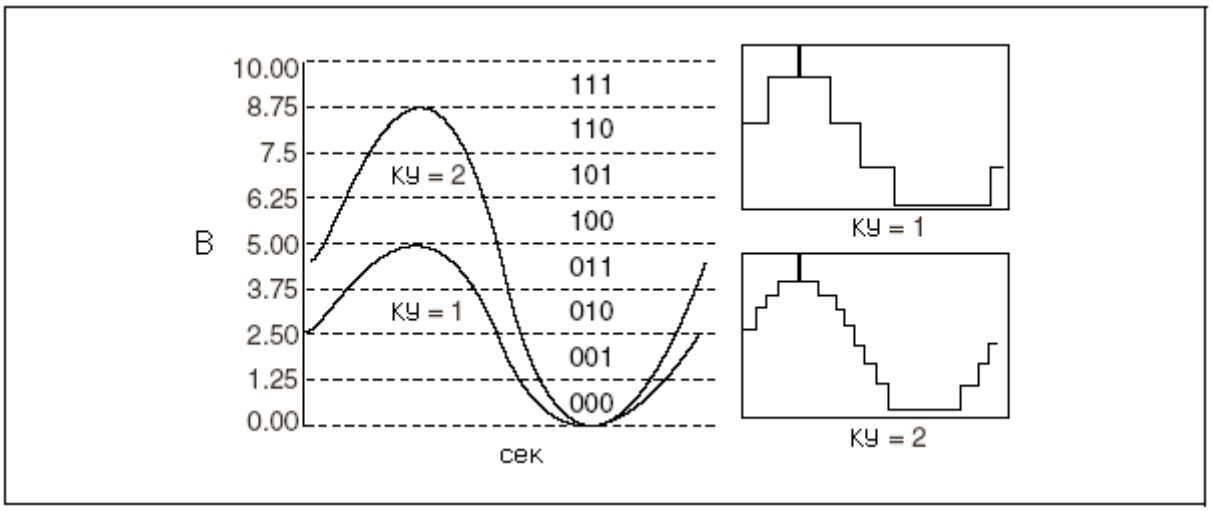


1 Рабочий диапазон от 0 до 10 В 2 Рабочий диапазон от -10 до 10 В

Усиление

Для улучшения представления сигнала может возникнуть необходимость в усилении или ослаблении сигнала перед его оцифровкой. Усиливая либо ослабляя сигнал, вы можете эффективно уменьшать/увеличивать входной диапазон АЦП, и, таким образом, позволить АЦП использовать максимально возможное число дискретных делений для представления сигнала.

Например, следующий рисунок показывает эффект применения усиления сигнала, меняющегося в пределах от 0 до 5 вольт, с использованием 3-битового АЦП с рабочим диапазоном 0-10 вольт. Без усиления, т.е. когда КУ = 1, АЦП использует только четыре из восьми делений для преобразования. При усилении сигнала перед оцифровкой в два раза, АЦП использует все восемь делений, поэтому дискретное представление становится более точным. В этом случае устройство имеет эффективный рабочий диапазон от 0 до 5 вольт, поскольку любой сигнал с напряжением больше 5 вольт, будучи умноженным на два, становится больше 10 вольт и поступает на вход АЦП.



Рабочий диапазон, разрядность и усиление устройства сбора данных определяют наименьшее фиксируемое изменение входного напряжения. Это изменение напряжения

представляет собой самый младший (двоичный) разряд дискретной величины и по-другому называется разрешающей способностью.

Разрешающая способность

Разрешающая способность характеризуется шагом дискретизации. Шаг дискретизации – наименьшее изменение сигнала, которое может обнаружить измерительная система.

Шаг дискретизации вычисляется по следующей формуле:

$$\text{Шаг дискретизации} = \frac{\text{диапазон напряжений}}{(\text{усиление} \times 2^{\text{разрядность в битах}})}$$

Чем меньше шаг дискретизации, тем более точно DAQ устройство может представить сигнал. Формула подтверждает то, что мы уже обсудили при разговоре о разрешении, рабочем диапазоне и усилении:

•Большая разрядность = меньший шаг дискретизации = более точное представление сигнала

•Большее усиление = меньший шаг дискретизации = более точное представление сигнала

•Больший рабочий диапазон = больший шаг дискретизации = менее точное представление сигнала

Определение шага дискретизации играет важную роль при выборе устройства сбора данных. Например, 12-битовое устройство с рабочим диапазоном от 0 до 10 вольт и единичным усилением фиксирует изменение напряжения на 2.4 мВ, в то время как то же устройство с рабочим диапазоном от -10 до 10 вольт сможет зафиксировать изменение на 4.8 мВ.

$$\frac{\text{диапазон напряжений}}{(\text{усиление} \times 2^{\text{разрядность}})} = \frac{10}{1 \times 2^{12}} = 2.4 \text{ мВ} \qquad \frac{20}{1 \times 2^{12}} = 4.8 \text{ мВ}$$

Упражнение 2-1. Разрешающая способность, рабочий диапазон, усиление и шаг дискретизации

Задача: Определить оптимальную конфигурацию измерительной DAQ системы.

В этом упражнении мы рассмотрим технические требования для трех заданий и определим наиболее подходящие для них DAQ-устройства и правильные настройки конфигурации каждого устройства для каждого из заданий.

При выборе устройства сбора данных рассмотрим соотношение цена-производительность. DAQ устройства с большим разрешением стоят дороже, однако обеспечивают более точное представление получаемого сигнала. DAQ устройства с большим рабочим диапазоном более гибки в использовании, но при этом увеличивается шаг дискретизации. В следующей таблице показаны четыре конфигурации устройств сбора данных, которые вы можете использовать для выполнения заданий данного упражнения. Обычные DAQ-устройства имеют разрешение 12 или 16 бит и позволяют настраивать свои входные каналы для сбора биполярных и однополярных сигналов.

Следующая таблица дает информацию о типичных DAQ-устройствах. В каждом из заданий данного упражнения выберите наиболее подходящее устройство сбора данных и оптимальную конфигурацию с наименьшей ценой и наибольшей точностью. Начните с вопроса о необходимости биполярного рабочего диапазона и определите подходящий уровень усиления. Затем определите, устройство с какой разрядностью – 12 или 16 бит – может обеспечить желаемый шаг дискретизации.

Полезный совет Используйте уравнение для шага дискретизации.

$$\text{Шаг дискретизации} = \frac{\text{диапазон напряжений}}{(\text{усиление} \times 2^{\text{разрядность в битах}})}$$

Таблица, отображающая два DAQ-устройства и их конфигурации:

	DAQ устройство 1		DAQ устройство 2	
	Конфигурация А	Конфигурация Б	Конфигурация А	Конфигурация Б
Разрядность (бит)	12	12	16	16
Диапазон (В)	0 – 10	-10 – 10	0 – 10	-10 – 10
Усиление (выберите одно)	1, 2, 5, 10, 20, 50, 100			

Задание 1

Термопара К-типа присоединена к выходу парового коллектора системы котлов высокого давления. Термопара может измерять температуру в диапазоне от -270 до 1372 ^{o}C. При измерении в этом диапазоне она выдает напряжение от -6.548 до 54.874 мВ.

Примечание. Не предполагайте замерзания котла (температура всегда положительна).

Какое DAQ устройство и его конфигурация будет наилучшими для обнаружения изменения напряжения на 2.1 мкВ?

Задание 2

Преобразователь давления расположен во входном патрубке двигателя. Выходное напряжение преобразователя изменяется от -2 до 2 вольт для линейного диапазона изменения давления от 20 Па до 105 кПа.

Какое DAQ устройство и его конфигурация будет наилучшими для этого задания, если необходимо измерять изменение давления на 1.5 Па, что соответствует изменению напряжения на 70 мкВ?

Задание 3

Гигрометр расположен на метеорологической станции для наблюдения за относительной влажностью. Датчик выдает линейно меняющееся напряжение от 0.8 до 3.9 вольт при изменении относительной влажности от 0 до 100%. Точность измерения датчиком относительной влажности достигает ±2%.

Какое DAQ устройство и его конфигурация будут наилучшими для этого задания, если необходимо фиксировать изменение напряжения, по крайней мере, на 0.62 мВ?

Решения

Задание 1 Поскольку предполагалось, что котлы не будут замораживаться, термопара будет всегда генерировать положительное напряжение. Следовательно, можно выбрать конфигурации А для обоих DAQ устройств, поскольку обе они – однополярные. Так как вы используете термопару с максимальным выходным напряжением 54.874 мВ, то можно использовать максимальное усиление сигнала. Следовательно, можно положить коэффициент усиления равным 100. Теперь необходимо выбрать между 12 и 16-битовыми устройствами. Используем уравнение для шага дискретизации. При выборе DAQ устройства 1 в конфигурации А с усилением 100 шаг дискретизации будет равен 24 мкВ, так что DAQ устройство не сможет зафиксировать изменение напряжения на 2.1 мкВ. То же уравнение для DAQ устройства 2 в конфигурации А дает шаг дискретизации 1.5 мкВ. Следовательно, DAQ устройство 2, работающее в конфигурации А, будет наилучшим выбором для данного проекта.

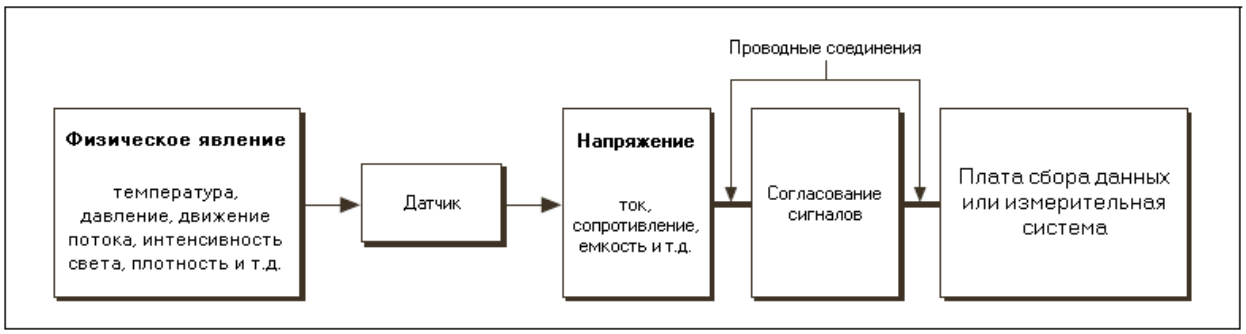
Задание 2 Преобразователь работает в линейном режиме и выдает биполярное напряжение. Следовательно, необходимы DAQ устройства 1 или 2 в конфигурации Б. При выборе усиления сигнала равным 5, вы сможете всецело использовать рабочий диапазон DAQ устройства. Используя уравнение для шага дискретизации, получим, что DAQ устройство 1 в конфигурации Б сможет зафиксировать изменение напряжения на 977 мкВ. А DAQ устройство 2 в конфигурации Б сможет зафиксировать изменение напряжения на 61 мкВ. Так что устройство 2 наилучшим образом подходит для обнаружения изменения на 70 мкВ. Следовательно, DAQ устройство 2, работающее в конфигурации Б, будет наилучшим выбором для данного проекта.

Задание 3 Гигрометр генерирует напряжение, линейно зависящее от относительной влажности. Поскольку напряжение, генерируемое датчиком, одной полярности, вы можете использовать DAQ устройства 1 или 2 в конфигурации А. Максимальное генерируемое напряжение равно 3.9 вольт, так что можно выбрать усиление равное 2. При использовании DAQ устройства 1 в конфигурации А шаг дискретизации равен 1.2 мВ. При использовании же DAQ устройства 2 шаг дискретизации равен 76 мкВ. Так как в этом задании необходимо устройство для детектирования изменений напряжения на 0.62 мВ, DAQ устройство 2, работающее в конфигурации А, будет наилучшим выбором для данного проекта.

Конец упражнения 2-1

D. Заземление источников сигнала

Для проведения правильных, точных и помехозащищенных измерений могут потребоваться знания о природе источников сигнала, соответствующая настройка DAQ устройств, подходящая разводка кабельных соединений. Следующая иллюстрация показывает типичную систему сбора данных. Достоверность полученных данных зависит от всего тракта прохождения аналогового сигнала.



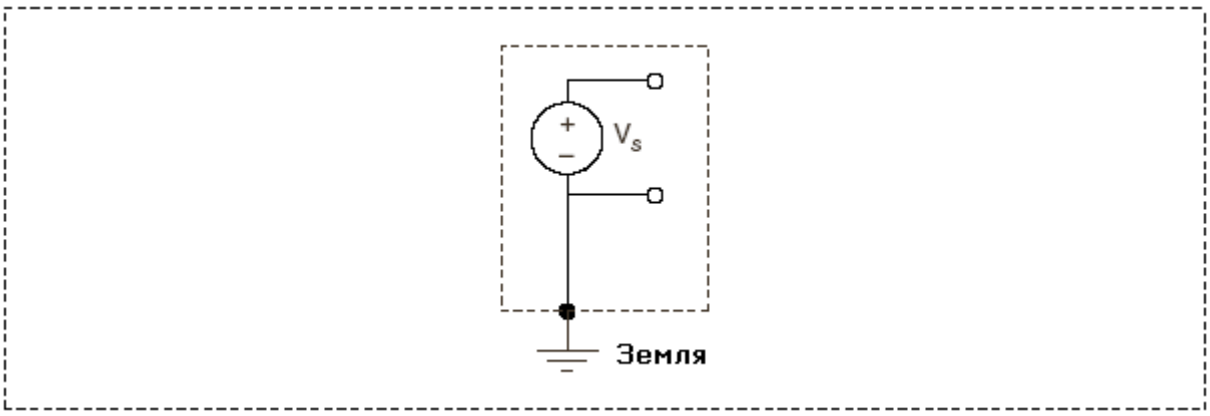
Для того чтобы охватить широкое разнообразие приложений, большинство устройств сбора данных обеспечивают некоторую гибкость в настройке ввода аналогового сигнала. Ценой этой гибкости может быть путаница в надлежащих применениях различных конфигураций ввода и их относительных достоинств. Цель данного раздела курса – помочь прояснить типы конфигураций аналогового ввода DAQ устройств и объяснить, как выбирать и использовать конфигурацию, наиболее подходящую для данного приложения. Понимание типов источников сигналов и измерительных систем является предпосылкой применения хорошей техники измерений.

Типы источников сигнала

При получении аналоговых сигналов используют заземленные и «плавающие» источники сигналов.

Заземленные источники сигнала

Заземленным источником сигнала называется такой, чье напряжение отсчитывается относительно потенциала системной «земли», в качестве которой может быть земля или здание, как показано на следующей иллюстрации.



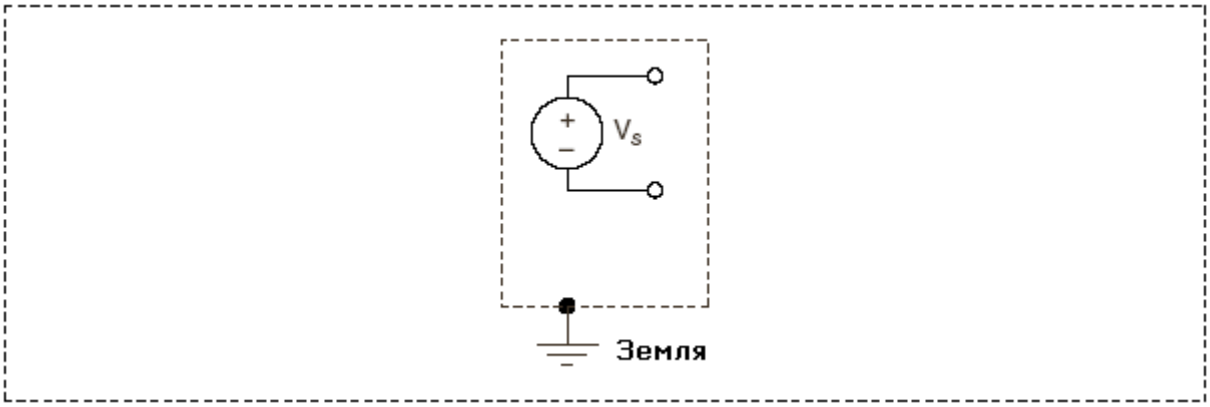
Такие источники сигнала и измерительное устройство совместно используют

«землю», поскольку присоединены к системной «земле». Наиболее распространенными примерами заземленных источников являются устройства, такие как генераторы сигналов и источники питания, которые соединены со зданием через настенные розетки.

Примечание. «Земли» двух независимо заземленных приборов в общем случае не обладают одним и тем же потенциалом. Различие между потенциалами заземления двух приборов, присоединенных к одной системе заземления в здании, достигает обычно 10 – 200 мВ. Разница может быть и больше, если разводки электроснабжения неправильно соединены. Это служит причиной явления, известного как паразитный контур с замыканием через «землю».

«Плавающие» источники сигнала

В «плавающем» источнике сигнала напряжение не отсчитывается ни от какого бы то ни было общего заземления, будь то земля или здание. Это показано на следующем рисунке.

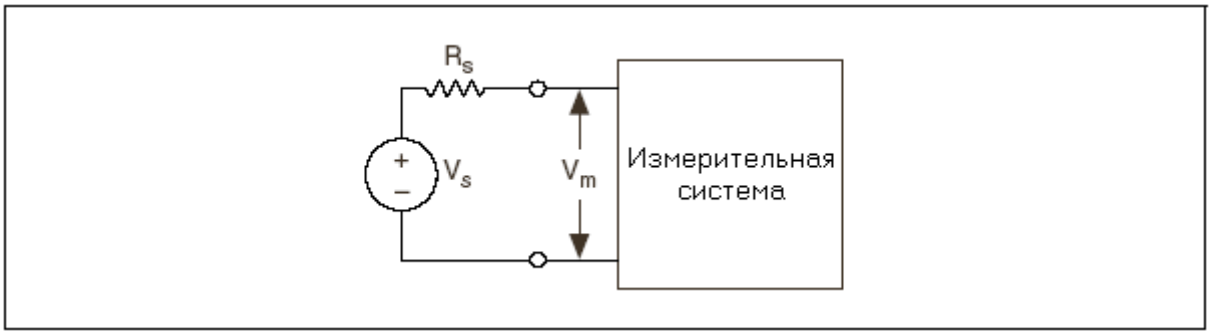


Некоторыми распространенными примерами «плавающего» источника сигнала могут быть батарейки, термопары, трансформаторы и изолированные усилители. Глядя на рисунок «плавающего» источника сигнала, отметьте, что ни один контакт источника не присоединен к заземлению в розетке питания, как на предыдущей иллюстрации заземленного источника сигнала. Каждый контакт независим от системной «земли».

E. Типы измерительных систем

Наиболее распространенный электрический сигнал, сгенерированный схемой согласования, соединенной с измерительным преобразователем, представляет собой сигнал по напряжению. Трансформация других электрических явлений, таких как ток и частота может встретиться в случаях, когда сигнал передается по очень длинному кабелю в сложной окружающей обстановке. На самом деле, всегда перед измерением трансформированный сигнал, в конце концов, преобразуется снова в сигнал по напряжению. Поэтому важно разобраться с таким типом источников сигналов.

Сигнал по напряжению измеряется как разность потенциалов между двумя точками, как показано на иллюстрации ниже.

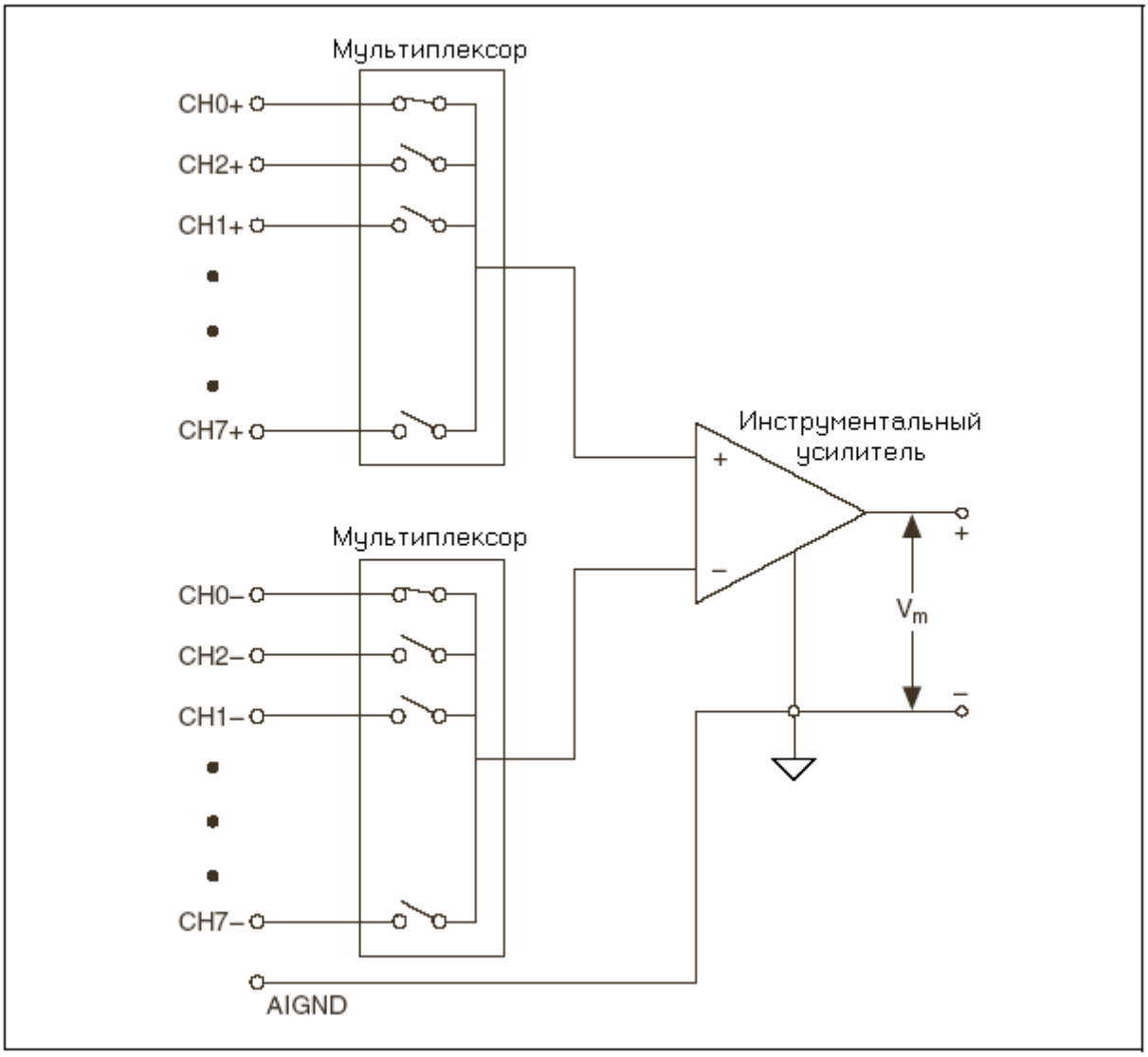


Настройка измерительной системы осуществляется, в соответствии с тем, какое оборудование вы используете, и какой тип измерения применяете.

Дифференциальная измерительная система

Дифференциальные измерительные системы похожи на «плавающие» источники сигнала: вы проводите измерения по отношению к «плавающему» заземлению, которое отлично от заземления измерительной системы. Ни один из входов дифференциальной измерительной системы не связан с фиксированным опорным потенциалом таких систем, как земля или здание. Портативные приборы с питанием от батарей и DAQ устройства с инструментальными усилителями – примеры дифференциальных измерительных систем.

Стандартные устройства компании National Instruments реализуют восьмиканальную дифференциальную измерительную систему, как показано на следующей иллюстрации. Использование мультиплексора и всего лишь одного инструментального усилителя в тракте прохождения аналогового сигнала позволяет увеличить число каналов измерения. На следующей иллюстрации контакт AIGND (analog input ground – заземление аналогового ввода) обозначает заземление измерительной системы.



Идеальная дифференциальная измерительная система реагирует только на разность потенциалов между двумя ее входами (терминалами) – положительным (+) и отрицательным (–). Синфазным (common-mode) напряжением называется напряжение, измеренное по отношению к заземлению инструментального усилителя, которое присутствует на обоих входах усилителя. Идеальная дифференциальная измерительная система не измеряет (подавляет) синфазное напряжение. Подавление синфазного напряжения полезно, поскольку нежелательные помехи и шумы часто вносятся как синфазное напряжение в контур, образованный кабельной разводкой измерительной системы.

Однако, ряд факторов, таких как диапазон синфазного напряжения и коэффициент ослабления синфазного сигнала (КОСС), ограничивают возможность подавления синфазного напряжения реальной дифференциальной измерительной системой.

Синфазное напряжение

Диапазон синфазного напряжения ограничивает разрешенное для каждого из входов максимальное напряжение относительно заземления измерительной системы. Пренебрежение этим ограничением приводит не только к ошибке измерения, но может привести к повреждению компонентов устройства. Следующее уравнение является определением синфазного напряжения ($V_{сф}$)

$V_{сф} = (V_+ + V_-) / 2$

где V_+ – напряжение на неинвертирующем входе измерительной системы по отношению к ее заземлению, V_- – напряжение на инвертирующем входе измерительной системы по отношению к ее заземлению.

Коэффициент ослабления синфазного сигнала

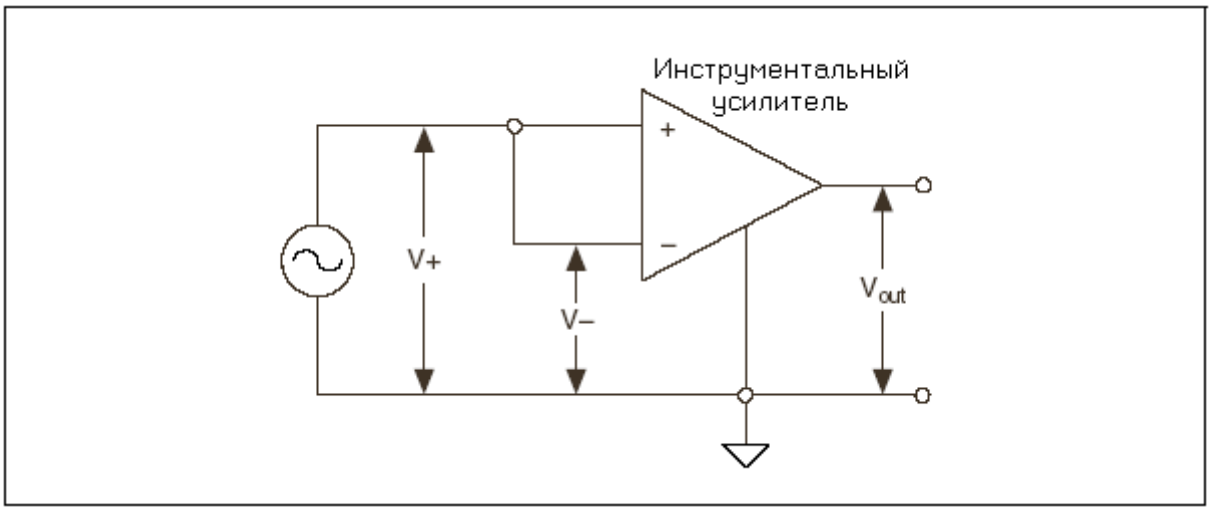
КОСС (Common Mode Rejection Ratio – CMRR) характеризует возможность ослабления синфазного сигнала дифференциальной измерительной системой. КОСС является функцией частоты и обычно убывает с ее увеличением. Чем больше КОСС, тем лучше усилитель выделяет дифференциальные сигналы на фоне синфазных помех. Использование схемы согласования может оптимизировать КОСС. Большинство DAQ устройств включают в качестве пункта спецификации зависимость КОСС от частоты в диапазоне до 50-60 Гц, т.е. частоты напряжения силовой сети. Следующее уравнение является определением КОСС в децибелах (дБ):

$$\text{КОСС (дБ)} = 20 \log \frac{\text{КУ дифференциального сигнала}}{\text{КУ синфазного сигнала}}$$

Рисунок ниже показывает простейшую схему, в которой КОСС (дБ) определяется как:

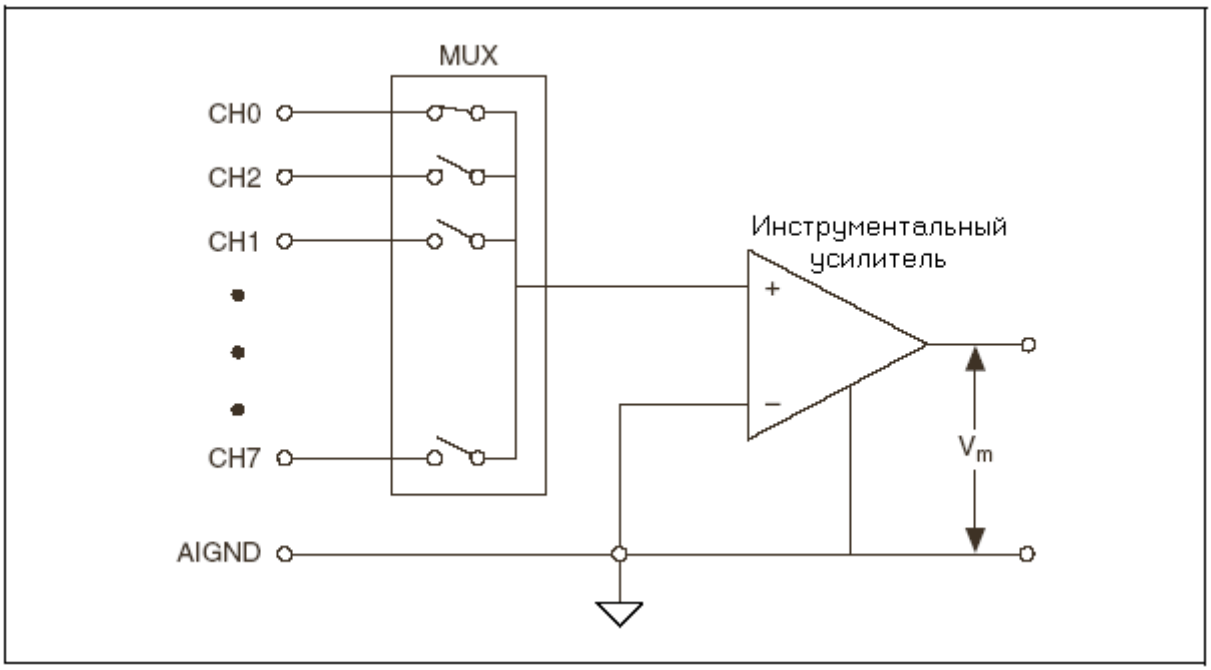
$$20 \log \frac{V_{сф}}{V_{вых}}$$

где $V_+ + V_- = V_{сф}$

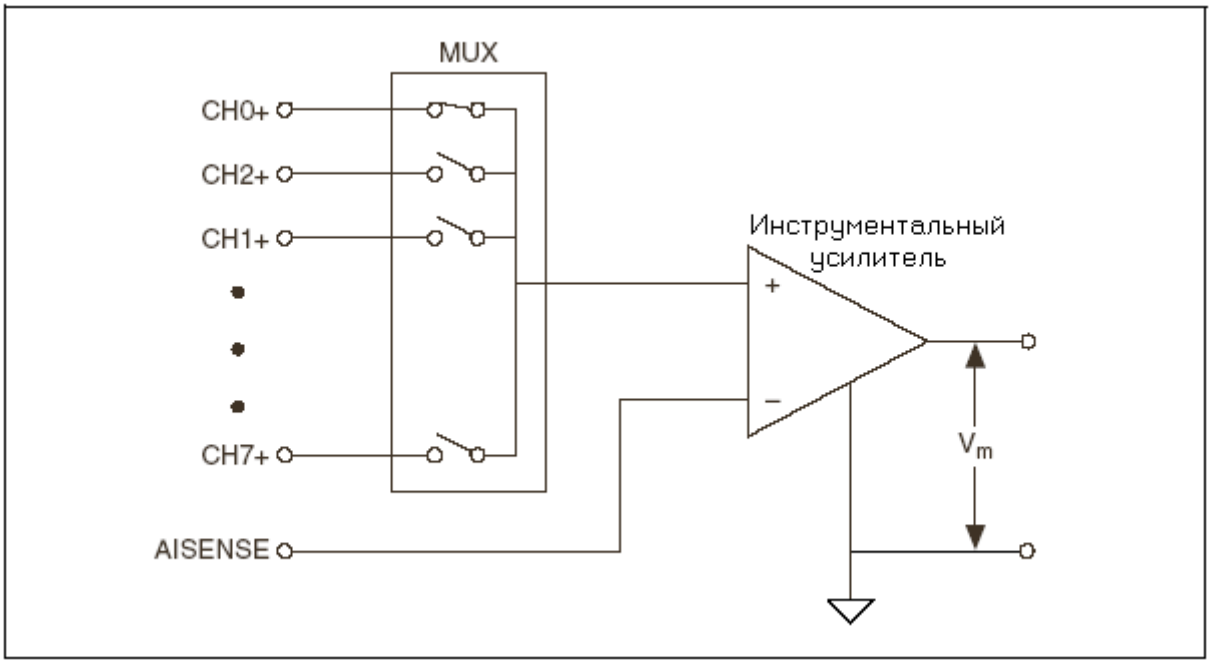


Измерительные системы с общим заземленным и незаземленным проводом

Измерительные системы с общим заземленным и незаземленным проводом похожи на заземленные источники сигнала, где измерения проводятся по отношению к заземлению. Измерительная система с общим заземленным проводом (referenced single-ended – RSE) измеряет напряжение по отношению к заземлению инструментального усилителя, AIGND, который непосредственно соединен с заземлением самой измерительной системы. Следующая иллюстрация показывает восьмиканальную измерительную систему с общим заземленным проводом.



В устройствах сбора данных часто используют технику измерений с общим незаземленным проводом (non-referenced single-ended – NRSE) или, по-другому, псевдодифференциальных измерений, которая является одним из вариантов техники измерений с общим заземленным проводом. Следующая иллюстрация показывает NRSE систему.



В NRSE измерительной системе все измерения проводятся по отношению к общему проводу аналогового ввода (AISENSE в устройствах E-серии), однако потенциал этого провода может меняться относительно заземления измерительной системы (AIGND). Одноканальная измерительная система с общим незаземленным проводом работает так же, как одноканальная дифференциальная измерительная система.

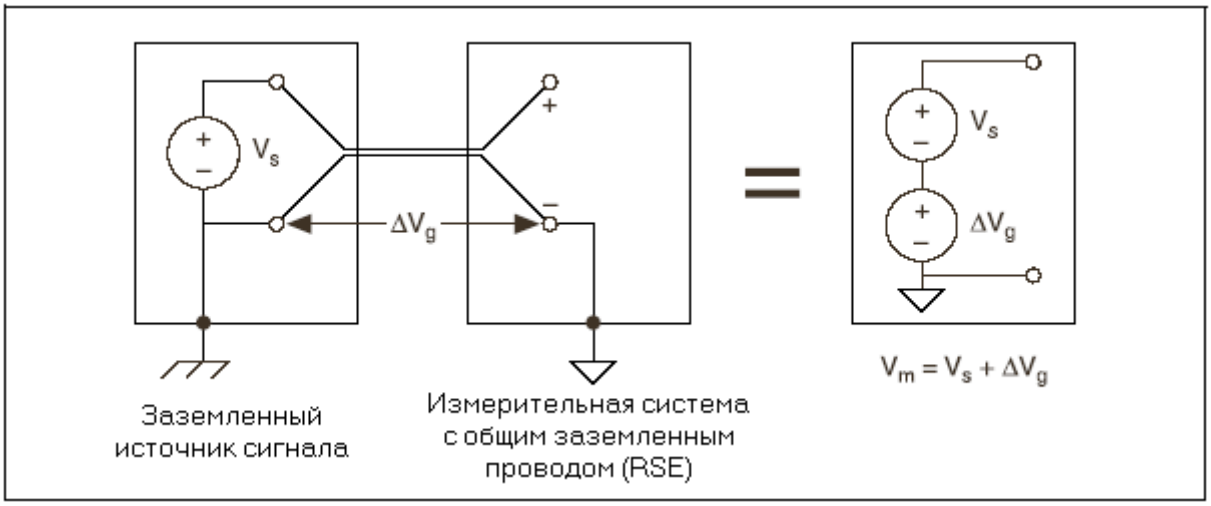
F. Измерения с различными источниками сигналов

Существует два типа источников сигналов – заземленные и «плавающие».

Измерения с заземленными источниками сигналов

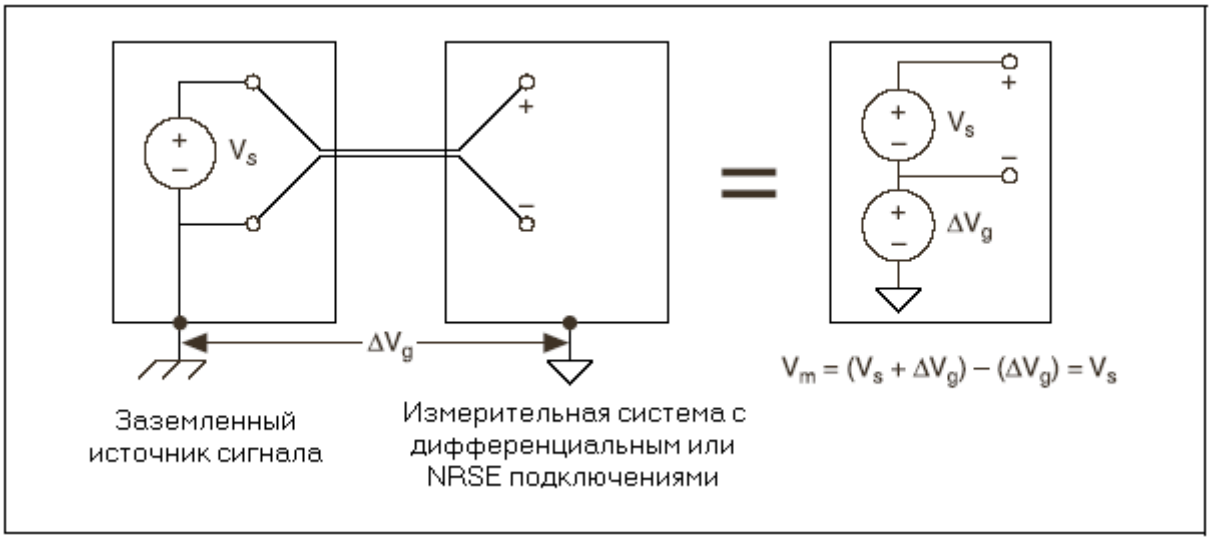
Измерения с заземленным источником сигнала лучше всего проводить при помощи дифференциальной измерительной системы.

Следующая иллюстрация показывает неправильное использование заземленной измерительной системы с опорным потенциалом – «землей» для измерения сигнала заземленного источника. В этом случае измеренное напряжение, V_m, равно сумме напряжения сигнала, V_g, и разности потенциалов ΔV_g, которая существует между землями источника сигнала и измерительной системы. Эта разность потенциалов не всегда постоянна во времени. В итоге получается зашумленная система, в результатах измерения которой часто просматриваются компоненты на частоте источника питания (50 Гц). Помехи, созданные контуром с замыканием через землю, могут содержать и постоянную и переменную составляющие, вследствие чего в измерениях появится ошибочное смещение напряжения и шумы. Разность потенциалов между двумя землями является причиной появления тока, текущего в системе.



Все же вы можете использовать заземленную систему с опорным потенциалом – «землей», если уровни напряжения сигнала велики, а взаимные соединения источника и измерительного устройства имеют небольшие импедансы. И в этом случае измерение напряжения сигнала будет ухудшаться под действием контура с замыканием через землю, но это ухудшение может быть небольшим. Перед тем как присоединить заземленный источник сигнала к заземленной же измерительной системе с опорным потенциалом – «землей», обязательно проверьте полярность источника сигнала, иначе он может быть закорочен на землю, что приведет к его повреждению.

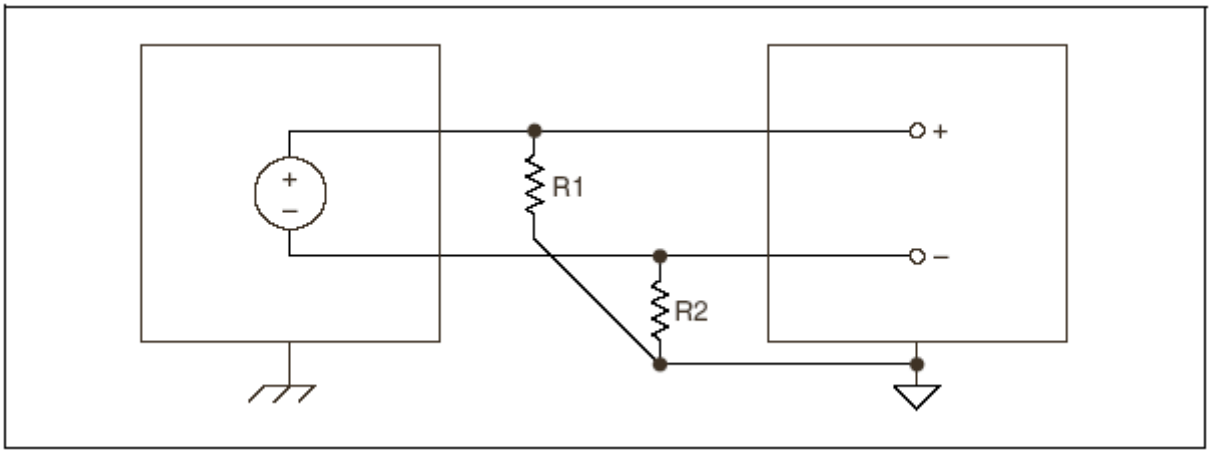
Конфигурации входа обычного DAQ устройства в дифференциальном (DIFF) и NRSE режимах используются для измерений без опорного потенциала. В любой из указанных конфигураций разность потенциалов заземлений источника сигнала и измерительного устройства появляется как синфазное напряжение относительно измерительной системы и вычитается из измеренного сигнала. Следующий рисунок иллюстрирует эту концепцию.



Измерения с «плавающими» источниками сигнала

Измерения с «плавающими» источниками сигнала можно проводить с использованием как дифференциальных измерительных систем, так и систем с общим проводом. Однако в случае дифференциальной измерительной системы убедитесь, что уровень синфазного напряжения сигнала относительно заземления измерительной системы остается в рамках допустимого синфазного напряжения для данного измерительного устройства.

Множество явлений, например входной ток смещения инструментального усилителя, могут сдвигать уровень «плавающего» источника сигнала за пределы рабочего диапазона напряжений входного каскада устройства сбора данных. Чтобы как-то привязать этот уровень к некоторому опорному потенциалу, используйте резисторы, как показано на следующей схеме.



Эти резисторы смещения создают цепь постоянного тока от входов инструментального усилителя к его заземлению. Без использования резисторов напряжение источника сигнала будет действительно «плавающим». Вполне вероятно, что это напряжение не останется в пределах рабочего диапазона по синфазному напряжению инструментального усилителя, и усилитель перейдет в режим насыщения. В качестве опорного напряжения для источника вы должны использовать AIGND. Простейший способ присоединить источник сигнала к измерительной системе заключается в соединении положительного вывода сигнала с положительным входом

инструментального усилителя, отрицательного вывода сигнала с AIGND и отрицательным входом инструментального усилителя без резисторов смещения. Такая схема соединений работает хорошо для источников, связанных по постоянному току, с импедансом менее 100. При больших импедансах источников такая схема делает тракт прохождения сигнала сильно несимметричным. Помехи, которые электростатически взаимодействуют с линией положительного вывода сигнала, не будут взаимодействовать с отрицательной, поскольку она соединена с AIGND. Поэтому такая помеха появится как сигнал при дифференциальном включении, а не как синфазный сигнал, и инструментальный усилитель не подавит ее. В этом случае, вместо прямого подключения линии отрицательного вывода к AIGND подключите ее через резистор, в 100 раз больший эквивалентного импеданса источника сигнала. Резистор сделает тракт прохождения сигнала почти симметричным, так что на оба соединения будут действовать одинаковые помехи, приводя к лучшему подавлению электростатического шума.

Вы можете полностью сбалансировать путь прохождения сигнала, присоединяя другой резистор с тем же номиналом между положительным входом и AIGND, как показано на предыдущем рисунке. Такая полностью сбалансированная конфигурация немного улучшит подавление помех. Однако она имеет недостаток в том, что нагружает источник последовательным соединением (суммой) двух резисторов. Если, например, импеданс источника равен 2 кОм, а сопротивление каждого из резисторов равно 100 кОм, то нагрузкой источника будет 200 кОм, что приведет к ошибке в -1%.

Для работы инструментального усилителя требуется, чтобы оба его входа имели развязки по постоянному току на землю. Если источник имеет соединение по переменному току (емкостная связь), то инструментальному усилителю необходим резистор между положительным входом и AIGND. Если импеданс источника небольшой, то можно выбрать сопротивление достаточно большое, чтобы незначительно нагружать источник, но и достаточно маленькое, чтобы не создавать существенного смещения напряжения на входе и, как следствие, входного тока смещения (обычно выбирают 100 кОм – 1 МОм). В этом случае вы можете присоединить отрицательный вход прямо к AIGND. Если же импеданс источника большой, вы должны сбалансировать путь прохождения сигнала, как это описано выше, используя одинаковые резисторы на положительном и отрицательном входах. При этом из-за нагрузки источника, немного возрастет ошибка.

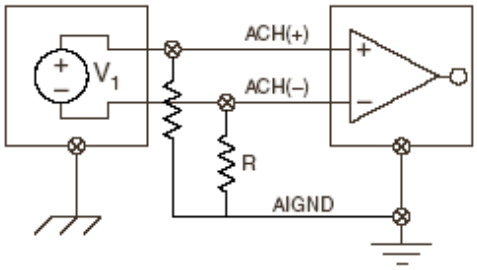
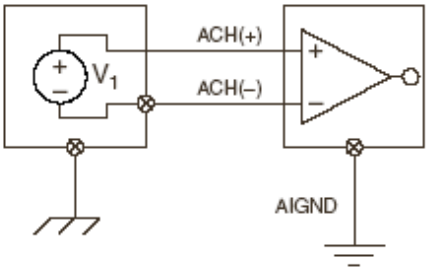
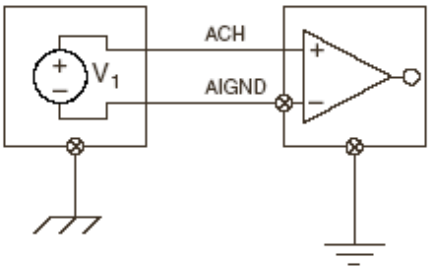
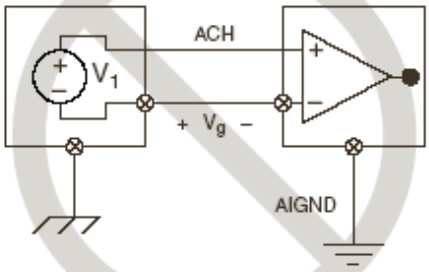
Резисторы необходимы для создания контура возврата на землю входных токов смещения. Для источников сигнала, связанных по постоянному току с усилителем, необходим только резистор R2. Для источников сигналов, связанных по переменному току, R1 = R2.

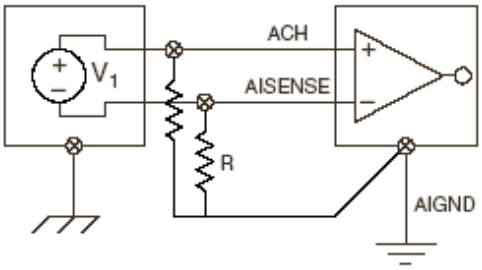
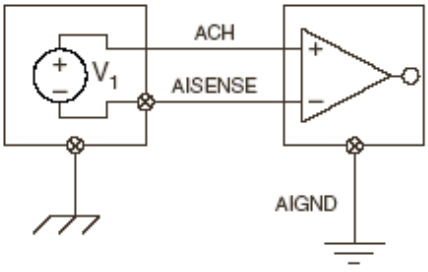
Внимание Неправильное использование этих резисторов приводит к неуправляемому считыванию сигнала или к тому, что усилитель перейдет в режим насыщения, и тогда сигнал будет иметь предельные значения (положительное или отрицательное).

В случае «плавающего» источника сигнала в схемах с общим проводом вы можете использовать режим с заземлением (RSE) для входа системы. Здесь не возникнет никакого контура с замыканием через землю. Вы также можете использовать режим с общим незаземленным проводом (NRSE), который более предпочтителен с точки зрения наводки шумов. В такой конфигурации входа «плавающие» источники сигналов требуют резистора(ов) смещения между входом общего провода (AISENSE) и заземлением измерительной системы (AIGND).

Краткая классификация источников сигналов и измерительных систем

Следующая иллюстрация показывает способы подключения источника сигнала к измерительной системе.

<table>
<tr><th rowspan="2">Вход</th><th colspan="2">Тип источника сигнала</th></tr>
<tr><th>Плавающий источник сигнала (не присоединен к заземляющей системе здания)</th><th>Заземленный источник сигнала</th></tr>
<tr><td>Примеры
• Незаземленные термопары
• Устройства согласования сигналов с изолированными выходами
• Устройства на батарейках</td><td>Примеры
• Встраиваемые приборы с неизолированными выходами</td></tr>
<tr><td>Дифферен-циальный</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>С общим заземленным проводом</td><td> 
</td><td>НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ
 

Потери из-за замыкания через землю, Vg добавляется к измеряемому сигналу</td></tr>
<tr><td>С общим незаземлен-ным проводом</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
</table>

Упражнение 2-2 Схемы измерений: дифференциальная, с общим заземленным проводом и с общим незаземленным проводом

Задача: изучить критерии выбора режима заземления для измерительной системы и правильное подключение к ней сигналов

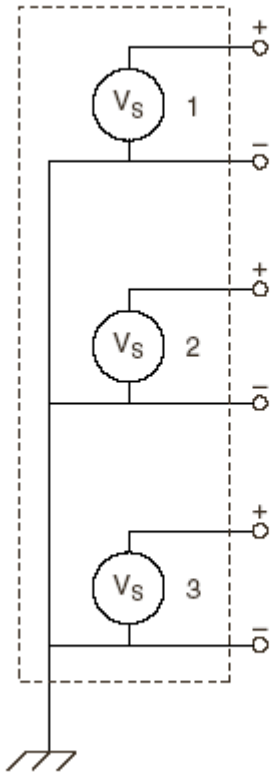
Задание 1

Предположим, что у вас есть прибор, подключенный к заземлённой розетке питания в стене. Напряжение выходов прибора отсчитывается от потенциала «земли», к которой присоединен сам прибор. Какого типа вы использовали бы измерительную систему в случае, если выходы прибора присоединяются к DAQ устройству в компьютере? (выбрать один)

Дифференциальный С общим заземленным проводом С общим незаземленным проводом

Следующая иллюстрация показывает прибор и расположение 50 контактов для платы ввода/вывода PCI-MIO-16E-4. Основываясь на выборе схемы заземления измерительной системы, присоедините следующее:

- источник напряжения 1 к каналу аналогового ввода 0
- источник напряжения 2 к каналу аналогового ввода 1
- источник напряжения 3 к каналу аналогового ввода 2



AIGND	1	2	AIGND
ACH0	3	4	ACH8
ACH1	5	6	ACH9
ACH2	7	8	ACH10
ACH3	9	10	ACH11
ACH4	11	12	ACH12
ACH5	13	14	ACH13
ACH6	15	16	ACH14
ACH7	17	18	ACH15
AISENSE	19	20	DAC0OUT[1]
DAC1OUT[1]	21	22	EXTREF[2]
AOGND	23	24	DGND
DIO0	25	26	DIO4
DIO1	27	28	DIO5
DIO2	29	30	DIO6
DIO3	31	32	DIO7
DGND	33	34	+5 V
+5 V	35	36	SCANCLK
EXTSTROBE*	37	38	PFI0/TRIG1
PFI1/TRIG2	39	40	PFI2/CONVERT*
PFI3/GPCTR1_SOURCE	41	42	PFI4/GPCTR1_GATE
GPCTR1_OUT	43	44	PFI5/UPDATE*
PFI6/WFTRIG	45	46	PFI7/STARTSCAN
PFI8/GPCTR0_SOURCE	47	48	PFI9/GPCTR0_GATE
GPCTR0_OUT	49	50	FREQ_OUT

Решение задания 1

Источник сигнала заземлен, следовательно, вы не можете использовать схему с общим заземленным проводом. Наилучшим выбором будет дифференциальная схема, поскольку число измеряемых сигналов меньше восьми. Если же число измеряемых сигналов будет больше восьми, тогда идеальным выбором будет схема с общим незаземленным проводом. При выборе дифференциальной схемы присоедините положительный вывод первого источника напряжения к контакту 3, а отрицательный вывод к контакту 4. Положительный вывод второго источника напряжения присоедините к контакту 5, а отрицательный вывод к контакту 6. И, наконец, положительный вывод третьего источника напряжения присоедините к контакту 7, а отрицательный вывод к контакту 8. При выборе схемы с общим незаземленным проводом положительные выводы источником напряжения присоедините таким же образом, а отрицательные к контакту AISENSE.

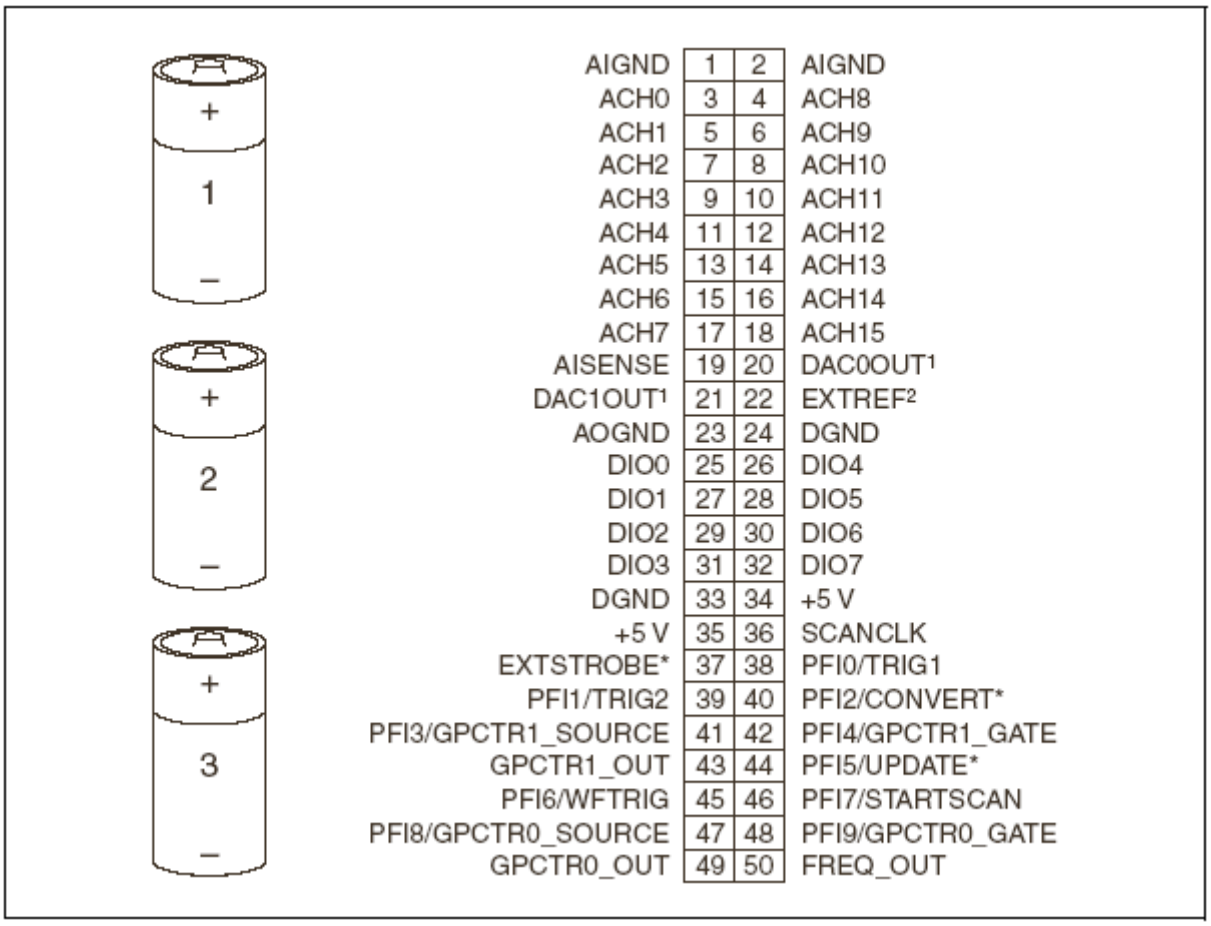
Задание 2

Предположим, что у вас есть три батарейки. Какого типа вы использовали бы измерительную систему в случае, если клеммы батареек присоединяются к DAQ устройству в компьютере? (выбрать один)

Дифференциальный С общим заземленным проводом С общим незаземленным проводом

Следующая иллюстрация показывает батарейки и расположение 50 контактов для платы ввода/вывода PCI-MIO-16E-4. Основываясь на выборе схемы заземления измерительной системы, присоедините следующее:

- батарейку 1 к каналу аналогового ввода 5
- батарейку 2 к каналу аналогового ввода 6
- батарейку 3 к каналу аналогового ввода 7



Решение задания 2

Источник сигнала – «плавающий», следовательно, вы можете выбрать любую из трех измерительных систем. Схемы с общим проводом позволят вам использовать 16 каналов, однако, для схемы с общим незаземленным проводом требуются резисторы смещения. Поскольку число сигналов для измерения меньше восьми, наилучший выбор – это дифференциальная схема. Однако при этом вам могут понадобиться резисторы смещения, так что простейший выбор – схема с общим заземленным проводом. При использовании дифференциальной схемы присоедините положительный вывод первой батарейки к контакту 13, а отрицательный – к контакту 14. Присоедините положительный вывод второй батарейки к контакту 15, а отрицательный – к контакту 16. И, наконец, присоедините положительный вывод третьей батарейки к контакту 17, а отрицательный – к контакту 18. Вам также понадобятся резисторы смещения, которые нужно подсоединить между отрицательными выводами батареек и контактом AIGND. При использовании схемы с общим заземленным проводом положительные выводы присоедините таким же образом, а все отрицательные – к контакту AIGND. Данная схема не требует резисторов смещения.

Конец упражнения 2-2

G. Программное обеспечение для систем сбора данных

Последняя компонента системы сбора данных – это программное обеспечение. Компьютер получает необработанные данные через устройство сбора данных. Программа, написанная вами, представляет и обрабатывает данные в понятной для вас форме. Программное обеспечение также управляет DAQ системой, посылая DAQ устройству команды, когда и с каких каналов получать данные.

Обычно программное обеспечение для DAQ систем содержит драйвера и прикладное программное обеспечение. Драйвера – уникальное программное обеспечение для данного устройства или типа устройств, включающее набор команд, принимаемых данным устройством. Прикладное программное обеспечение, такое как LabVIEW, посылает драйверные команды, такие как получить и возвратить значение напряжения термопары. Прикладное программное обеспечение служит также для отображения и анализа полученных данных.

Измерительные устройства компании NI включают инструментальный драйвер NI-DAQ – набор виртуальных приборов, используемых для настройки, сбора и отправки данных в измерительные устройства.

Измерительная система содержит следующее программное обеспечение:

- NI-DAQ – программное обеспечение для управления DAQ устройством.
- Проводник по средствам измерений и автоматизации (Measurement & Automation Explorer – MAX) – программное обеспечение для взаимодействия LabVIEW и NI-DAQ.
- LabVIEW – программное обеспечение, используемое для создания приложения, которое отправляет команды драйверу и получает, анализирует и представляет данные.

H. Инструментальный драйвер NI-DAQ

Инструментальный драйвер NI-DAQ 7.0 содержит два типа драйверов – традиционный NI-DAQ и NI-DAQmx, каждый со своим собственным программным интерфейсом (API), настройкой оборудования и программного обеспечения. Драйвер NI-DAQ используется для взаимодействия с DAQ устройствами компании National Instruments, такими как многофункциональные устройства ввода/вывода сигналов, SCXI модули согласования сигналов и коммутационные модули. В данном курсе описывается разработка виртуальных приборов с использованием только NI-DAQmx.

Примечание. Инструментальный драйвер NI-DAQ вы не сможете использовать для работы с устройствами, произведенными не фирмой NI. Возможно, что вам придется связаться с продавцом устройства фирмы-производителя, чтобы получить драйвер, написанный именно для этого устройства.

Драйвер NI-DAQ совместим со следующими приложениями и средами программирования:

- LabVIEW
- Measurement Studio
- Microsoft Visual C/C++
- Microsoft .NET Languages
- Visual Basic
- ANSI C

Для получения большей информации о совместимости NI-DAQ с конкретными версиями указанных языков программирования прочтите содержимое файла *NI-DAQ 7.0 Readme*.

Традиционный NI-DAQ

Традиционный NI-DAQ – обновление NI-DAQ 6.9.*x*, ранней версии NI-DAQ. Традиционный NI-DAQ содержит те же ВП и функции и работает таким же образом, что и NI-DAQ 6.9.*x*. Вы можете использовать традиционный NI-DAQ совместно NI-DAQmx на одних и тех же компьютерах, однако NI-DAQmx нельзя использовать совместно с NI-DAQ 6.9.*x*.

NI-DAQmx

NI-DAQmx – новейшая версия инструментального драйвера NI-DAQ, содержащая новые виртуальные приборы, функции и средства разработки для управления измерительными устройствами. NI-DAQmx содержит пользовательский интерфейс и набор инструментов для программирования и настройки вашего DAQ устройства. По сравнению с предыдущими версиями инструментального драйвера NI-DAQmx отличается следующими преимуществами:

- DAQ Assistant (Помощник по сбору данных) – графический интерфейс настройки измерительных задач, каналов и масштабов в NI-DAQmx для дальнейшего использования в LabVIEW 7.0 и т.д. Используйте DAQ Assistant для генерации NI-DAQmx кода для выполнения задач и настройки каналов или для использования NI-DAQmx кода в другой системе сбора данных. DAQ Assistant можно запустить из

LabVIEW либо из MAX.

- Увеличенная производительность, включая более быстрые операции поточечного аналогового ввода/вывода и многопоточный режим работы.
- Более простой программный интерфейс (API) создания DAQ приложений с использованием меньшего количества функций и ВП, чем в более ранних версиях NI-DAQ.
- Расширенная функциональность в LabVIEW, включая узлы свойств (Property Nodes) для сбора данных и улучшенная поддержка типа данных «осциллограмма» для операций аналогового и цифрового ввода/вывода.
- Похожие программные интерфейсы приложений для ANSI C, LabWindows™/CVI™, Measurement Studio, включая оригинальный интерфейс .NET и C++.

Традиционный драйвер NI-DAQ и NI-DAQmx поддерживают различные наборы устройств сбора данных. Список поддерживаемых устройств можно найти в *NI-DAQ 7.0 Readme* или в кратком руководстве по сбору данных (*DAQ Quick Start Guide*).

I. Проводник по средствам измерений и автоматизации

Проводник по средствам измерений и автоматизации (Measurement & Automation Explorer – MAX) – приложение, работающее в операционной системе Windows, которое устанавливается во время установки NI-DAQ. MAX используется для настройки и тестирования программного обеспечения и оборудования NI, создания новых каналов и интерфейсов, просмотра присоединенных устройств и приборов. При создании ВП с использованием традиционного NI-DAQ вы по необходимости должны будете использовать MAX для настройки устройства.
Для запуска программы дважды щелкните кнопкой мыши на иконке Measurement & Automation на рабочем столе Windows. MAX содержит следующие функциональные категории:

- Окружение данных (Data Neighborhood)
- Устройства и интерфейсы (Devices and Interfaces)
- Приборы IVI
- Масштабы (Scales)
- Данные за прошлое время (Historical Data)
- Программное обеспечение (Software)
- ВП регистрации заданий (VI Logger Tasks)

Окружение данных

Раздел Окружение данных (Data Neighborhood) предоставляет доступ к ярлыкам быстрого вызова настройки физических каналов вашей системы, включая виртуальные каналы и задачи сбора данных. Как правило, ярлыки имеют названия, описывающие назначение соответствующих каналов. Данный раздел содержит утилиты для тестирования и перенастройки этих каналов. Из этой вкладки вы можете запустить Помощника по сбору данных для создания и настройки параметров виртуальных каналов и задач.

Помощник по сбору данных

Помощник по сбору данных (DAQ Assistant) – это графический интерфейс для создания измерительных каналов и задач.

- **Канал** – Канал NI-DAQmx устанавливает соответствие информации о конфигурации, такой как масштаб и пределы входного сигнала, с определенным физическим каналом. Вы можете настроить параметры канала и одновременно дать ему описательное имя. Это имя вы можете использовать позже для обеспечения доступа к этому каналу и его конфигурации в LabVIEW или задаче по сбору данных. Вы можете дать описание каналу, решить, какой тип измерительного преобразователя он будет использовать, установить рабочий диапазон (определить усиление), выбрать тип заземления, назначить необходимое масштабирование для виртуального канала и дать ему описательное имя вместо порядкового номера.

  Например, предположим, что нулевой канал на испытательной коробке присоединен к датчику температуры. Для этого канала вы можете создать виртуальный канал и назвать его Датчик Температуры. Возможно создание

виртуальных каналов для аналогового и цифрового ввода/вывода, а также ввода/вывода сигналов счетчика. В этом случае обращение к каналу по имени (Датчик Температуры) вместо номера (0) поможет вам запомнить назначение данного канала.

- **Задача** – Задача NI-DAQmx – это набор каналов с одинаковыми временными параметрами и синхронизацией. Задача сохраняет параметры измерения или генерации, которую вы хотите произвести. Каналы, составляющие задачу, могут использоваться в нескольких задачах (глобальный канал) или назначаться только одной определенной задаче (локальный канал). Во время создания задачи вы можете создавать новые каналы, или же формировать задачу, используя каналы, уже созданные с использованием помощника по сбору данных.

Устройства и интерфейсы

Вкладка Устройства и интерфейсы (Devices and Interfaces) отображает список установленного и обнаруженного оборудования NI. Вкладка Устройства и интерфейсы также содержит панели тестирования, утилиты самопроверки и самокалибровки для настройки и тестирования устройств.

Самопроверка

Утилита Self-Test (Самопроверка) запускает внутренний тест устройства сбора данных с тем, чтобы убедиться, что все ресурсы назначены должным образом и что устройство сконфигурировано правильно.

Панели тестирования

Утилита Test Panel (Панель тестирования) проверяет функциональные возможности аналогового и цифрового ввода/вывода, а также ввода/вывода сигналов счетчика устройства сбора данных. Используйте эту утилиту для проверки функционирования устройства или настройки системы непосредственно из NI-DAQmx. Если устройство не работает в режиме тестирования, то оно не будет работать и в LabVIEW. Если у вас возникли проблемы со сбором данных при программировании в LabVIEW, начните поиск неисправности с запуска утилит самопроверки и панели тестирования.

Возврат в исходное состояние

Утилита Reset (Возврат в исходное состояние) возвращает DAQ устройство в состояние, принятое по умолчанию.

Свойства

Утилита Properties позволяет настроить и просмотреть конфигурацию RTSI и дополнительных устройств, используемых совместно с вашим DAQ-устройством. Системные ресурсы, занимаемые устройством, такие как область памяти и запрос прерывания, отображаются во вкладке **Attributes** (Атрибуты) в правой части окна настройки в MAX.

Самокалибровка

Утилита Self-Calibrate (Самокалибровка) производит внутреннюю калибровку устройства сбора данных.

Шкалы

Раздел Scales (Масштабы) показывает все настроенные в данный момент шкалы и содержит программы тестирования и перенастройки этих шкал. В этом разделе можно также запустить DAQ Assistant для создания новых шкал.

Помощник по сбору данных

DAQ Assistant (Помощник по сбору данных) используется для создания произвольных шкал, которые вы можете применить для существующих виртуальных каналов. Для того чтобы не перепутать шкалы, каждый из них может иметь свое собственное имя и описание. Произвольная шкала может иметь один из следующих типов:

- **Linear (Линейный)** – Шкала, определяемая формулой $y = mx + b$.
- **Map Ranges (Соответствие диапазонов)** – Шкалы, при которых диапазон масштабированных значений пропорционален диапазону необработанных значений.
- **Polynomial (Полиномиальный) –** Шкала, определяемая формулой $y = a_0 + (a_1 * x) + (a_2 * x_2) + \ldots + (a_n * x_n)$.
- **Table** (**Табличный**) – Шкала, в которой вы вводите необработанное значение и соответствующую ему масштабированную величину в формате таблицы.

Программное обеспечение

Раздел программного обеспечения (Software) показывает уже установленные программные продукты NI. Иконка каждого программного продукта является одновременно ярлыком его быстрого запуска. Этот раздел также содержит Software Update Agent (Агент обновления программного обеспечения). Задачей Агента является проверка на наличие обновлений программного обеспечения National Instruments. Если установленный продукт не будет последней версией, то Агент откроет Web страницу на сайте `ni.com` с целью закачки новейшей версии.

Архитектура программного обеспечения для ОС Windows

Основной компонент NI-DAQmx – файл `nidaq32.dll` – осуществляет непосредственные вызовы функций DAQ устройства. Роль, которую выполняет `nidaq32.dll`, зависит от того, из какого приложения вы к нему обращаетесь. И MAX и LabVIEW могут взаимодействовать с NI-DAQmx. MAX используется в основном для настройки и тестирования устройства сбора данных. MAX не только помогает настроить устройства, но также показывает, какие устройства присутствуют в системе. С этой целью MAX должен взаимодействовать с Диспетчером Устройств и реестром Windows.

Упражнение 2-3 Использование Measurement & Automation Explorer

Задача: Познакомиться с разделом Устройства и Интерфейсы проводника по средствам измерений и автоматизации и исследовать функциональные возможности панели тестирования.

1. Подайте синусоидальное напряжение с генератора функций на аналоговый ввод 1 на испытательной коробке.
2. Присоедините аналоговый вывод 0 к аналоговому вводу 2.

Примечание. Не изменяйте никаких установочных параметров в течение этого упражнения. Оборудование было настроено надлежащим образом, и любое изменение, сделанное вами, может вызвать ошибки в последующих упражнениях.

3. Запустите MAX двойным нажатием кнопки мыши на его иконке на рабочем столе либо выберите **Start»Programs»National Instruments»Measurement & Automation Explorer**.

4. Дважды щелкните раздел **Devices and Interfaces**. MAX осуществит поиск установленного оборудования и отобразит найденное.

5. Дважды щелкните раздел **NI-DAQmx Devices**. В списке отобразится тип DAQ устройства, установленного в компьютере, и его имя. По умолчанию присваивается имя `"Dev1"`. Если устройства нет в списке, выберите **View»Refresh (Вид»Обновить)**.

6. Щелкните правой кнопкой мыши на имени DAQ устройства и выберите из появившегося контекстного меню опцию **Self-Test**. Появится диалоговое окно, указывающее о прохождении устройством теста. Нажмите на кнопку **OK**, чтобы закрыть диалоговое окно.

Примечание. Если DAQ устройство не прошло самопроверку, сообщите об этом преподавателю.

7. Щелкните правой кнопкой мыши на имени DAQ устройства и выберите из появившегося контекстного меню опцию **Properties (Свойства**). Появится диалоговое окно **Device Properties (Свойства устройства)**.

С помощью закладки **RTSI Configuration (Настройка RTSI**) можно определить, подключен ли к устройству RTSI кабель. RTSI кабели передают внутренние сигналы от одного устройства к другому.

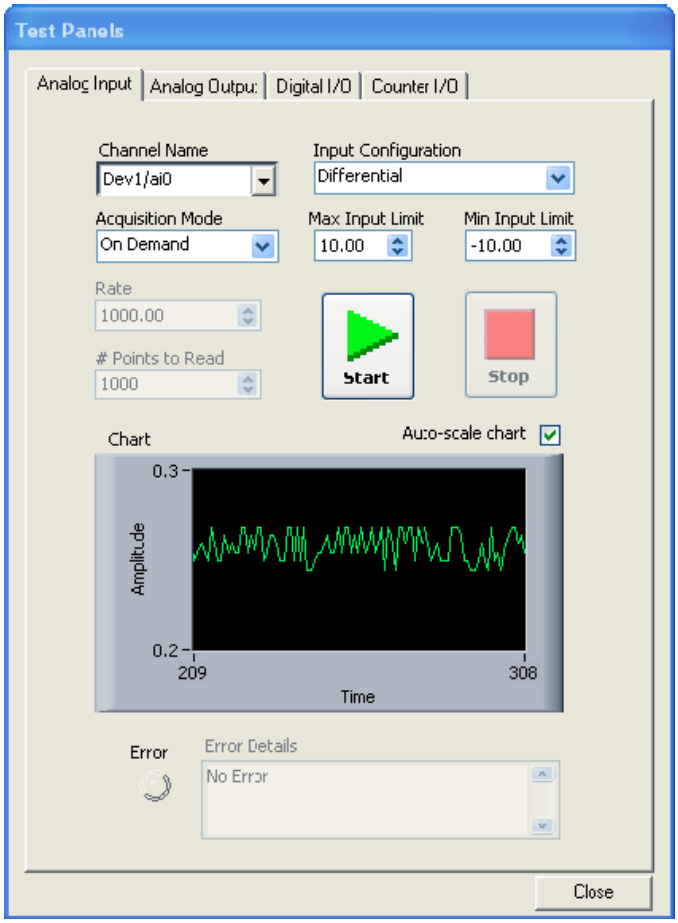
Закладка **Accessory** (**Вспомогательное оборудование**) позволяет выбрать и настроить любое вспомогательное оборудование, присоединенное к DAQ устройству. Например, если вы используете терминальную коробку SCB-68 для подключения сигналов к DAQ устройству, тогда выберите его в этой вкладке. Устройства, перечисленные во вкладке вспомогательного оборудования, обычно обеспечивают некоторую форму согласования сигналов или позволяют увеличить число каналов измерений. Если вспомогательное устройство не изменяет способа измерения сигналов, то оно не появится в этом списке. При использовании испытательной коробки оставьте выделенной опцию **None**. Испытательная коробка не содержится в этом списке, поскольку

не изменяет процедуры измерения сигналов.

Нажмите кнопку **OK** для выхода из диалогового окна **Device Properties**.

8. Щелкните правой кнопкой мыши на имени DAQ устройства и выберите из появившегося контекстного меню опцию **Test Panels**. Появится диалоговое окно **Test Panels**. Вкладка **Analog Input** (**Аналоговый ввод**) позволяет просмотреть величины сигналов к каналах аналогового ввода.

Установите значения меню **Channel Name** в `Dev X/ai0`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства. Канал 0 – температурный датчик на испытательной коробке. Нажмите кнопку **Start** (**Запуск**). На развертке должно отобразиться напряжение от 0.2 до 0.3 вольт, как это показано на следующей иллюстрации.



9. Чтобы увеличить напряжение, дотроньтесь пальцем до датчика температуры на испытательной коробке. Нажмите на кнопку **Stop**.

Примечание. Панель тестирования – эффективный метод нахождения неисправностей, поскольку утилита работает с оборудованием на более низком уровне, чем LabVIEW. Если панель тестирования функционирует правильно, а ВП LabVIEW не работает, то проблема с виртуальным прибором. Если же не работает панель тестирования, то проблема с оборудованием или настройкой драйвера.

10. В меню **Analog Input** панели тестирования измените значение на `Dev X/ai1`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства. Убедитесь, что синусоидальный сигнал с

функционального генератора подается на аналоговый ввод 1 на испытательной коробке. Нажмите кнопку **Start**. Синусоидальный сигнал может выглядеть искаженным. Нажмите на кнопку **Stop**.

Выпадающее меню **Acquisition Mode** (**Режим сбора данных**) содержит следующие опции.

- **On Demand** (**По запросу**) – Считывает одну точку данных
- **Finite (Ограниченно**) – Отображает количество данных для заполнения только одного кадра развертки
- **Continuous** (**Непрерывно**) – Непрерывно отображает данные порциями для заполнения одного кадра развертки.

Режимы сбора данных **Finite** и **Continuous** позволяют изменять частоту выборки (дискретизации). Чем больше частота выборки, тем более точно развертка отображает осциллограмму.

11. Выполните следующие действия для повышения точности отображения на графике.
    a. На испытательной коробке установите **frequency range (диапазон частоты)** в положение 100 Гц – 10 кГц и поверните ручку **Frequency Adjust** (**Подстройка частоты**) в положение `Low`.
    б. На панели тестирования установите режим сбора данных **Acquisition Mode** в значение **Finite** или **Continuous** и попробуйте различные значения частоты **Rate**, такие как 5,000, 10,000 или 15,000, пока развертка не покажет гладкий синусоидальный сигнал.

12. Выберите вкладку аналогового вывода **Analog Output**. Здесь вы можете сгенерировать постоянное напряжение или синусоидальный сигнал на одном из каналов аналогового вывода устройства сбора данных. Выполните следующие действия для генерации постоянного напряжения в нулевом канале аналогового вывода.
    a. Убедитесь, что аналоговый вывод 0 присоединен к аналоговому вводу 2 на испытательной коробке.
    б. Выберите опцию DC Voltage (постоянное напряжение) в меню режима генерации **Output Mode**.
    c. Введите 5 V в поле выходного напряжения/амплитуды (**Output Voltage/Amplitude**) и нажмите **Update** (**Обновить**).

13. Выберите вкладку **Analog Input**.
    a. Измените канал считывания данных на канал аналогового ввода 2 и установите режим сбора данных **Acquisition Mode** в значение **On Demand**.
    б. Нажмите кнопку **Start**. На графике вы должны увидеть напряжение 5 вольт.
    c. Нажмите кнопку **Stop**.

14. Выберите вкладку **Digital I/O** (Цифровой ввод/вывод) для работы с восемью цифровыми линиями DAQ устройства. Здесь вы можете настроить каждую линию на работу в режиме входной либо выходной линии.

Примечание. Если у вас есть уже настроенное шасси SCXI, то линии 4, 2, 1 и 0 будут недоступны для использования.

    a. Установите линии с нулевой по третью в режим выходных линий. Они соответствуют четырем светодиодам на испытательной коробке. Переключайте состояния этих линий выделяя и снимая выделение в окошках меток **Logic Level**

(**Логический уровень**).

б. Наблюдайте за включением и выключением светодиодов. Светодиоды включаются, когда окошко метки Logic Level не выделено, поскольку они работают в режиме обратной логики. Другими словами, светодиод включается, когда выход цифровой линии находится в логическом состоянии «выключено».

15. Нажмите вкладку **Counter I/O** (Ввод/вывод счетчика). Выполните следующие действия для проверки функционирования счетчика/таймера:

а. Выберите DevX/Ctr0. По умолчанию **Edge Source** (**Источник импульсов**) имеет значение `/Dev X/20MHzTimeBase`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства. В данном режиме будет происходить подсчет импульсов сигнала тактового генератора с частотой 20 МГц.

б. Нажмите кнопку **Start**. Значение на индикаторе числа импульсов **Counter Value** должно быстро расти.

с. Нажмите кнопку **Stop** для остановки проверки счетчика.

16. Нажмите кнопку **Stop**.

17. Закройте панель тестирования и выйдете из MAX.

Конец упражнения 2-3

Упражнение 2-4 Помощник по сбору данных

Задача: Создать три NI-DAQmx канала, используя помощника DAQ Assistant, и NI-DAQmx задачу для каждого канала. Вам необходимо будет создать специальную шкалу для преобразования единиц измерения значений датчика температуры из напряжения в градусы Цельсия.

Часть 1. Создание каналов.

1. Подайте синусоидальное напряжение с функционального генератора испытательной коробки на аналоговый ввод 1, а прямоугольное напряжение на аналоговый ввод 2.

2. Если вы закрыли MAX в предыдущем упражнении, запустите его снова, дважды щелкая кнопкой мыши на его иконке на рабочем столе.

3. Для настройки каналов с Помощником по сбору данных щелкните правой кнопкой мыши на разделе **Data Neighborhood** и выберите из появившегося контекстного меню опцию **Create New (Создать новый …)**. Создайте глобальный канал для датчика температуры на испытательной коробке.

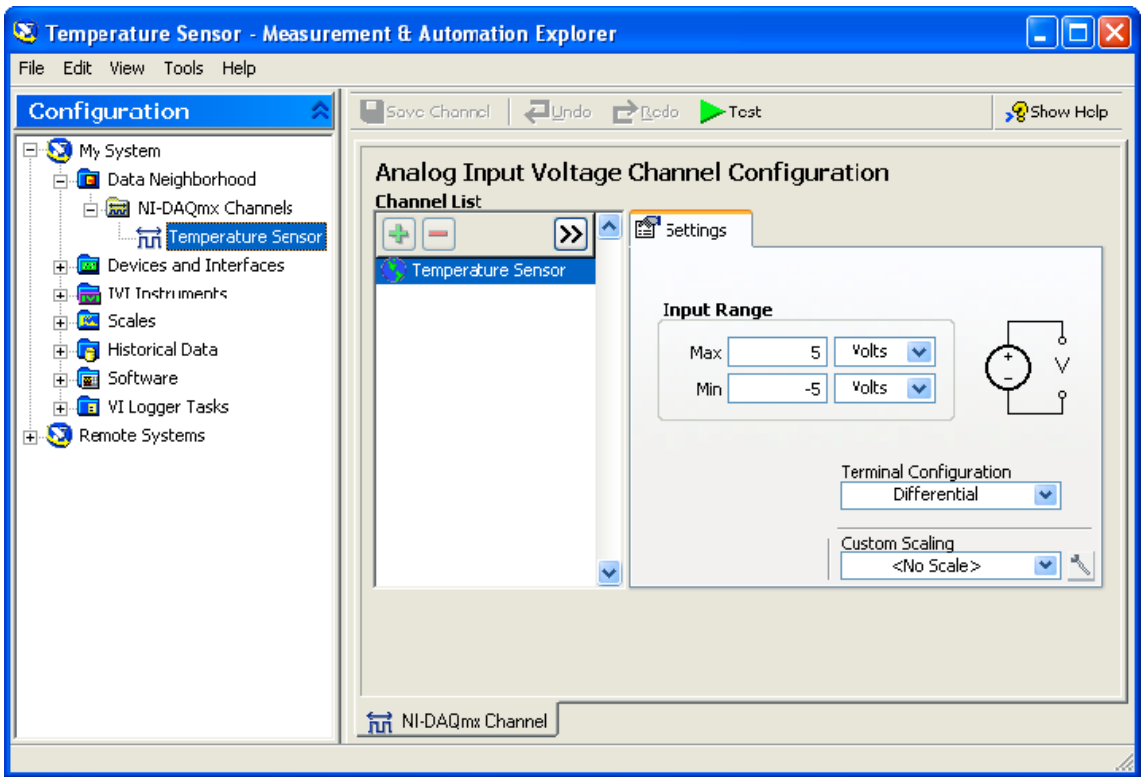
4. Выберите **NI-DAQmx Global Channel (Глобальный канал NI-DAQmx**) и нажмите кнопку **Next**.

5. В появившемся диалоговом окне выберите **Analog Input (Аналоговый ввод**) в качестве типа измерения.

6. В качестве типа датчика выберите **Voltage (Напряжение**). Хотя вы производите измерение температуры при помощи датчика температуры на испытательной коробке, не выбирайте **Temperature** в качестве типа датчика. Применяйте его при использовании специальных преобразователей температуры, таких как термопары или температурные резистивные детекторы.

7. Следующее диалоговое окно поможет вам выбрать физический канал для использования в вашем виртуальном канале. Для **Dev*X***, где ***X*** соответствует номеру вашего DAQ устройства, выберите **ai0** и нажмите **Next**.

8. Назовите канал `Temperature Sensor`. Нажмите кнопку **Finish**. В MAX должна появиться следующая конфигурация канала.



9. Нажмите кнопку **Test** для запуска панели тестирования. Нажмите кнопку начала проверки **Start** и убедитесь, что снимаемые данные находятся в диапазоне от 0.2 до 0.3 вольт. Нажмите кнопку **OK** для выхода из панели тестирования. После создания NI-DAQmx канала в MAX всегда проверяйте канал перед тем, как продолжить создание других каналов.

10. Повторите шаги с 3 по 8 для создания еще одного канала со следующими настройками:

- **Второй канал — Синусоидальный сигнал**
  - **Measurement Type**: `Analog Input`
  - **Sensor Type**: `Voltage`
  - **Physical Channel**: `ai1`
  - **Название**: `Sine Wave`

Часть 2 – Создание задачи

В первой части данного упражнения вы создали два глобальных канала. Когда два или больше каналов имеют похожие требования по частоте выборки и синхронизации, то объединение каналов в логическую группу называется NI-DAQmx Task (NI-DAQmx задача). Создайте задачу и добавьте два предварительно созданных глобальных канала и один локальный канал в эту задачу.

1. Щелкните правой кнопкой мыши на **Data Neighborhood** и выберите из появившегося контекстного меню **Create New**.

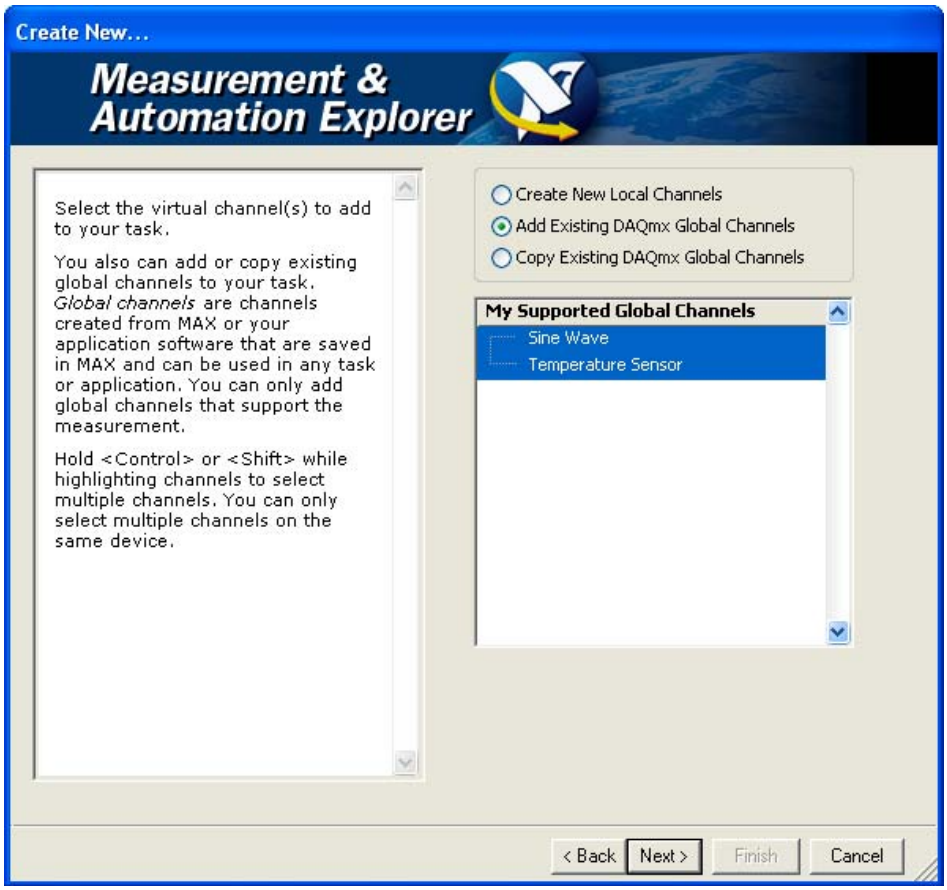
2. Выберите **NI-DAQmx Task** и нажмите кнопку **Next**.

3. Выберите **Analog Input** в качестве типа измерения.

4. В качестве типа датчика выберите **Voltage**.

5. Диалоговое окно поможет вам выбрать физические каналы для включения их в задачу. Но вы хотите использовать глобальные каналы, уже созданные в первой части упражнения. Чтобы сделать это, выберите опцию **Add Existing DAQmx Global Channels** (**Добавить существующие DAQmx глобальные каналы)**.

6. При выделении обоих каналов нажмите и удерживайте клавишу <Shift>.

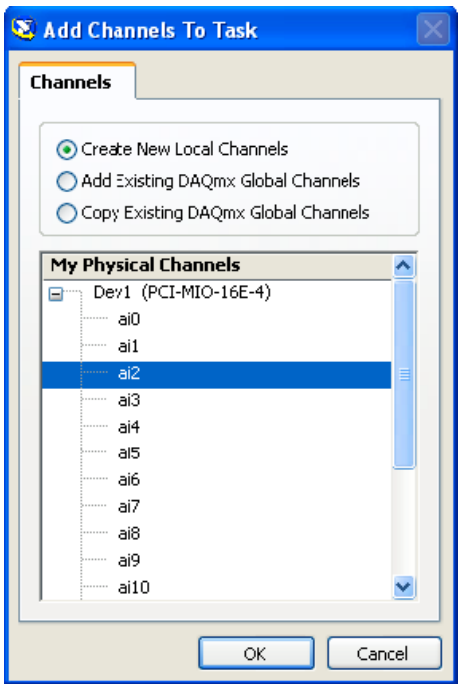


7. Нажмите кнопку **Next**.

8. Назовите задачу `MyVoltageTask` и нажмите кнопку **Finish**.

9. Просмотрите содержимое окна **Voltage Input Setup**. Щелкните правой кнопкой мыши на канале **Temperature Sensor** и изучите контекстное меню, Обратите внимание, что здесь вы можете изменить тип канала на локальный.

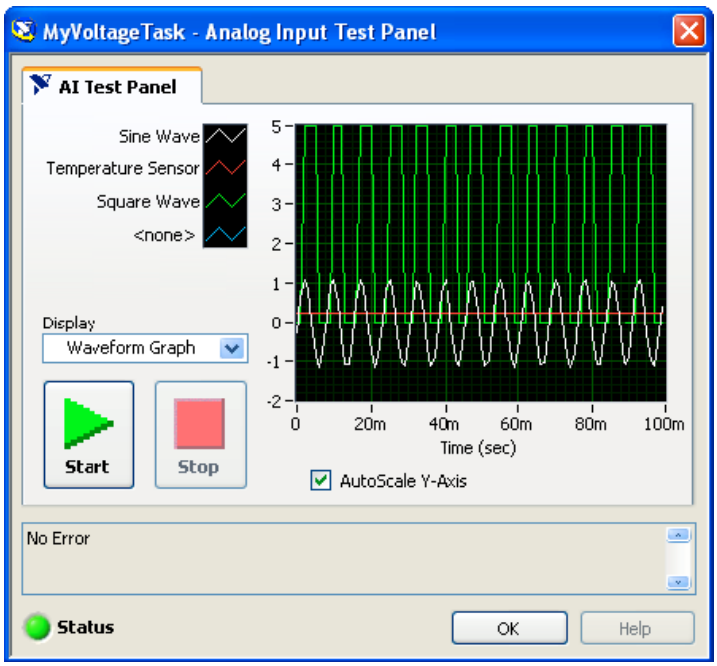
10. Нажмите на кнопку Add -> Voltage и выберите **Create New Local Channels** (**Создать новый локальный канал)**. Выберите физический канал `ai2` устройства сбора данных.



11. Чтобы завершить создание канала, названного **Voltage**, нажмите кнопку **OK**. Для его переименования щелкните на канале правой кнопкой мыши и выберите **Rename** из контекстного меню. Назовите его `Square Wave`.

12. Нажмите кнопку **OK** для возврата к Помощнику по сбору данных. Обратите внимание, что канал с прямоугольным сигналом не имеет иконки в форме шара. Это говорит о том, что данный канал – локальный, то есть он может использоваться только в задаче `MyVoltageTask`.

13. Нажмите кнопку **Test**, а затем **Start** для сбора данных.



14. Нажмите кнопку **OK** для выхода из панели тестирования.

15. Нажмите кнопку **Save Task (Сохранить задачу)** для сохранения задачи в MAX.

Часть 3 – Специальный масштаб температуры

Значения напряжений, которые вы снимаете с датчика температуры на испытательной коробке, изменяются в диапазоне 0.2 – 0.3 вольта. Этот уровень напряжения, умноженный на 100, соответствует температуре в единицах градусов Цельсия. Создайте масштаб для канала датчика температуры с тем, чтобы в приложение возвращались данные в приемлемых единицах.

1. В разделе **Data Neighborhood** выберите **NI-DAQmx Global Channels** и далее **Temperature Sensor**.

2 В настройке **Voltage Input Setup** выберите **Custom Scaling (Произвольный масштаб)** и далее **Create New** из контекстного меню.

3. Используйте следующие установки для создаваемого масштаба:

• **Scale Type**: `Linear` (**Тип масштаба**: `линейный`)

• **Name**: `Temperature Scale` (**Название**: `Temperature Scale`)

4. Нажмите кнопку **Finish**. Появится Помощник по сбору данных. Настройте в нем числовое масштабирование для вашего масштаба.

5. Так как напряжение и градусы Цельсия имеют отношение 1 к 100, введите `100` для величины **slope** (наклон). Поскольку в вашей системе нет смещения, оставьте значение **y-intercept (отрезок, отсекаемый на оси y от начала координат)** по умолчанию равным 0.

6. Введите `Deg C` для новых единиц **(Scaled Units)** и `Volts` для предыдущих единиц измерения (**Pre-Scaled Units**).

7. Нажмите кнопку **OK**.

8. Для канала с температурным датчиком, измените максимальное и минимальное значения на `40` и `0` соответственно. Для измерения температуры воздуха или вашего пальца диапазона `0` – `40` градусов Цельсия будет вполне достаточно.

9. Сохраните настройки канала, нажав кнопку **Save Channel**.

10. Нажмите кнопку **Test** и далее **Start** для сбора данных. Обратите внимание, что теперь данные находятся в диапазоне двадцати – тридцати градусов Цельсия.

11. Нажмите кнопку **OK** для возврата к Помощнику по сбору данных.

12. Закройте MAX.

Конец упражнения 2-4

J. Обзор ВП NI-DAQmx

Теперь, когда вы познакомились с измерительными преобразователями, типами сигналов, настройкой DAQ устройств в MAX, можно начинать изучение того, как использовать LabVIEW для разработки приложений сбора данных. Драйвер NI-DAQmx поддерживает кроме LabVIEW другие программные пакеты, но в данном курсе рассматривается создание DAQ приложений только в LabVIEW.

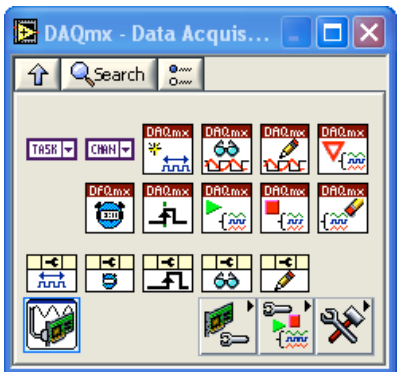
Элементы управления именами DAQmx

Элементы управления именами DAQmx расположены в палитре **Controls»All Controls»**
I/O»DAQmx Name Controls.

Палитра **DAQmx Name Controls** содержит элементы управления для задания имен задач, каналов, физических каналов, терминалов, шкал, номеров устройств и переключателей (коммутаторов). Поскольку перед тем, как программировать в LabVIEW, задачи и каналы обычно настраиваются в MAX, то чаще всего вы будете использовать элементы управления Task Name (Имя задачи) и Channel Name (Имя канала). Параметры физического канала, терминала, шкалы и номера устройства конфигурируются в MAX при создании и настройке задачи или канала. Настроенные задачи и каналы автоматически заполняют выпадающие меню (menu rings) элементов управления DAQmx Task Name и DAQmx Channel Name.

DAQmx – ВП сбора данных

Для разработки приложений контроля, сбора данных и управления приборами с использованием оборудования NI-DAQ и NI-SWITCH применяйте ВП NI-DAQmx, расположенные в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition**. Полный список устройств, поддерживаемых драйвером NI-DAQmx, можно найти в кратком введении в сбор данных *DAQ Quick Start Guide for NI-DAQ 7.0* или в файле *NI-DAQ 7.0 Readme*.



Палитра **DAQmx - Data Acquisition** содержит следующие константы, виртуальные приборы (ВП), узлы свойств и подпалитры:

Константы

- DAQmx Task Name Constant (Константа имени задачи DAQmx) – Содержит список всех задач, которые вы создали и сохранили, используя DAQ Assistant. Щелкните правой кнопкой мыши на константе и выберите из появившегося контекстного меню **I/O Name Filtering** (Фильтрация имени при операциях Ввода/Вывода). Это ограничит отображение и выбор константы только задачами.

- DAQmx Global Channel Constant (Константа имени глобального канала DAQmx) – Содержит список всех виртуальных каналов, которые вы создали и сохранили, используя Помощника по сбору данных. Выберите **Browse (Обзор)** для использования нескольких каналов. Щелкните правой кнопкой мыши на константе и выберите из появившегося контекстного меню **I/O Name Filtering** (Фильтрация имени при операциях Ввода/Вывода). Это ограничит отображение и выбор константы только каналами.

Виртуальные приборы

- DAQmx Create Virtual Channel VI (ВП Создать виртуальный канал DAQmx) – Создает виртуальный канал или ряд каналов и добавляет их в задачу. Конфигуратор этого полиморфного виртуального прибора задает тип канала ввода/вывода (например, аналоговый ввод, цифровой вывод или вывод сигнала счетчика), тип измерения или генерации, которая будет произведена (например, измерение температуры, генерация напряжения или подсчет событий) и в некоторых случаях тип используемого датчика (например, термопару или резистивный температурный детектор для измерений температуры).

  Эта функция устанавливает набор тех же настроек, которые вы производили в MAX при создании виртуального канала. Применяйте этот ВП, если при функционировании ваша программа может периодически менять номер физического канала, но не другие важные параметры, такие как режим подключения терминалов или шкалу. Для задания номера DAQ устройства и действующего физического канала, в который подается сигнал, используйте выпадающее меню физических каналов.

- DAQmx Read VI (ВП DAQmx Чтение) – Считывает данные из тех задач либо каналов, которые вы задали. Конфигуратор этого полиморфного виртуального прибора задает формат получаемых данных, а также тип процедуры: считать ли за раз одну выборку или несколько, и считывать ли из одного или нескольких каналов.

- DAQmx Write VI (ВП DAQmx Запись) – Записывает данные в заданную вами задачу или каналы. Конфигуратор этого полиморфного виртуального прибора задает формат записываемых данных, записать ли за раз одну выборку или несколько, и записывать в один или несколько каналов.

- DAQmx Wait Until Done VI (ВП DAQmx Задержка до окончания выполнения) – Ожидает завершения измерения или генерации. Используйте этот ВП для уверенности в окончании заданной операции перед остановкой задачи.

- DAQmx Timing VI (ВП DAQmx Тактирование) – Настраивает число выборок для сбора или генерации и создает буфер, когда это необходимо. Конфигуратор этого полиморфного виртуального прибора задает тип временных характеристик, используемых в задаче.

- DAQmx Trigger VI (ВП DAQmx Триггер) – Настраивает триггеры для задачи. Конфигуратор этого полиморфного виртуального прибора задает триггер и его тип.

- DAQmx Start Task VI (ВП DAQmx Запуск задачи) – Переводит задачу в состояние выполнения для начала измерения или генерации. Использование этого ВП необходимо для некоторых приложений и необязательно для других.

- DAQmx Stop Task VI (ВП DAQmx Остановка задачи) – Останавливает задачу и возвращает ее в состояние, в котором она находилась до использования ВП DAQmx Start Task или ВП DAQmx Write со значением на входе **autostart** (**автозапуск**) TRUE (Истина).

- DAQmx Clear Task VI (ВП DAQmx Сброс задачи) – Сбрасывает задачу. Перед сбросом этот ВП останавливает задачу, если это необходимо, и освобождает все ресурсы, зарезервированные задачей. Вы не можете использовать задачу после того, как сбросили ее, если не воссоздадите ее заново.

Обратитесь к разделу данного занятия *Модель состояния NI-DAQmx задачи* за большей информацией о выполнении алгоритма NI-DAQmx.

Узлы свойств

- DAQmx Channel Property Node (Узел свойств DAQmx канала) – Узел свойств с уже выбранным классом DAQmx канала. Щелкните правой кнопкой на узле свойств и выберите из контекстного меню **Select Filter (Выбрать фильтр)**, чтобы узел содержал только свойства, поддерживаемые определенным устройством, установленным в системе, или свойства, поддерживаемые всеми устройствами в системе.

- DAQmx Timing Property Node (Узел свойств DAQmx тактирование) – Узел свойств операции DAQmx тактирование. Щелкните правой кнопкой на узле свойств и выберите из контекстного меню **Select Filter**, чтобы узел содержал только свойства, поддерживаемые определенным устройством, установленным в системе, или свойства, поддерживаемые всеми устройствами в системе.

- DAQmx Trigger Property Node (Узел свойств DAQmx триггер) – Узел свойств операции DAQmx триггер. Щелкните правой кнопкой на узле свойств и выберите из контекстного меню **Select Filter**, чтобы узел показывал только свойства,

поддерживаемые определенным устройством, установленным в системе, или свойства, поддерживаемые всеми устройствами в системе.

- DAQmx Read Property Node (Узел свойств DAQmx чтение) – Узел свойств операции чтения DAQmx. Щелкните правой кнопкой на узле свойств и выберите из контекстного меню **Select Filter**, чтобы узел показывал только свойства, поддерживаемые определенным устройством, установленным в системе, или свойства, поддерживаемые всеми устройствами в системе.

- DAQmx Write Property Node (Узел свойств DAQmx запись) – Узел свойств операции записи DAQmx. Щелкните правой кнопкой на узле свойств и выберите из контекстного меню **Select Filter**, чтобы узел показывал только свойства, поддерживаемые определенным устройством, установленным в системе, или свойства, поддерживаемые всеми устройствами в системе.

Помощник по сбору данных

- DAQ Assistant Express VI (Экспресс-ВП Помощник по сбору данных) – Создает, редактирует и запускает задачи, используя NI-DAQmx. Обращайтесь к краткому руководству по сбору данных *DAQ Quick Start Guide for NI-DAQ 7.0* за полным списком устройств, поддерживаемых библиотекой драйверов NI-DAQmx.

Подпалитры

- Виртуальные приборы и функции, находящиеся в палитре **DAQmx Device Configuration (DAQmx Настройка устройств)**, используются для детальной настройки и управления оборудованием.

- Виртуальные приборы и функции, находящиеся в палитре **DAQmx Advanced Task Options (Дополнительные опции задачи DAQmx)**, используются для дополнительной настройки и управления задачами.

- Виртуальные приборы и функции, находящиеся в палитре **DAQmx Advanced (DAQmx Дополнительно)**, используются для доступа к разнообразным и довольно сложным особенностям настройки драйвера NI-DAQmx.

K. Выполнение алгоритма NI-DAQmx: модель состояния задачи

NI-DAQmx использует модель состояния задачи для управления распределением ресурсов и потоком выполнения задач. Вызов виртуальных приборов DAQmx Start, DAQmx Stop и DAQmx Control Task переводит задачу из одного состояния в другое. Модель состояния задачи очень гибка в использовании. Вы можете выбрать взаимодействие с моделью состояния задачи в такой степени, в какой это требуется вашему приложению. Вы можете осуществлять явный переход в каждой из задач, используя ВП DAQmx Control Task, или же позволить NI-DAQmx выполнять переход между состояниями неявно. Модель состояния задачи состоит из следующих пяти состояний:

- **Unverified (Непроверенное)** – Когда задача создана или загружена явно или неявно – это непроверенное состояние. В этом состоянии вы настраиваете тактирование, триггеры и свойства канала в задаче.

- **Verified (Проверенное)** – При переходе задачи из непроверенного состояния в проверенное инструментальный драйвер NI-DAQ проверяет правильность настройки тактирования, триггеров и свойств канала. Вы можете явно задать этот переход, вызывая ВП DAQmx Control Task с вводом **action (действие)** в режиме проверки (verify). При установке определенного свойства/атрибута, NI-DAQmx незамедлительно обнаруживает и проверяет неправильные значения некоторых других свойств/атрибутов, однако абсолютно все значения NI-DAQmx не может проверить незамедлительно, поскольку они зависят от других используемых свойств/атрибутов и устройств. NI-DAQmx проверяет значения этих свойств/атрибутов во время проверки перехода и тогда докладывает о любых неправильных значениях. Если NI-DAQmx не находит неправильных значений, задача успешно подтверждается и переходит в проверенное состояние. В противном случае она остается в непроверенном состоянии.

- **Reserved (Зарезервированное)** – Ресурсы, которые использует задача для совершения определенной операции, выделяются только тогда, когда задача переходит из проверенного состояния в зарезервированное. Этими ресурсами могут быть тактовые генераторы или физические каналы устройства, триггерные линии в шасси PXI или буферная память в компьютере. Резервирование этих ресурсов предотвращает их использование другими задачами, которые взаимодействуют с данной задачей, выполняющей определенную операцию. Вы можете явно задать этот переход, вызывая ВП DAQmx Control Task с вводом **action (действие)** в режиме резервировать (reserve). Этот переход не осуществится, если ресурсы какой-либо задачи в данный момент зарезервированы другой задачей. Если задача может получить доступ ко всем ресурсам, которые использует, она успешно резервируется и переходит в зарезервированное состояние. В противном случае она остается в проверенном состоянии.

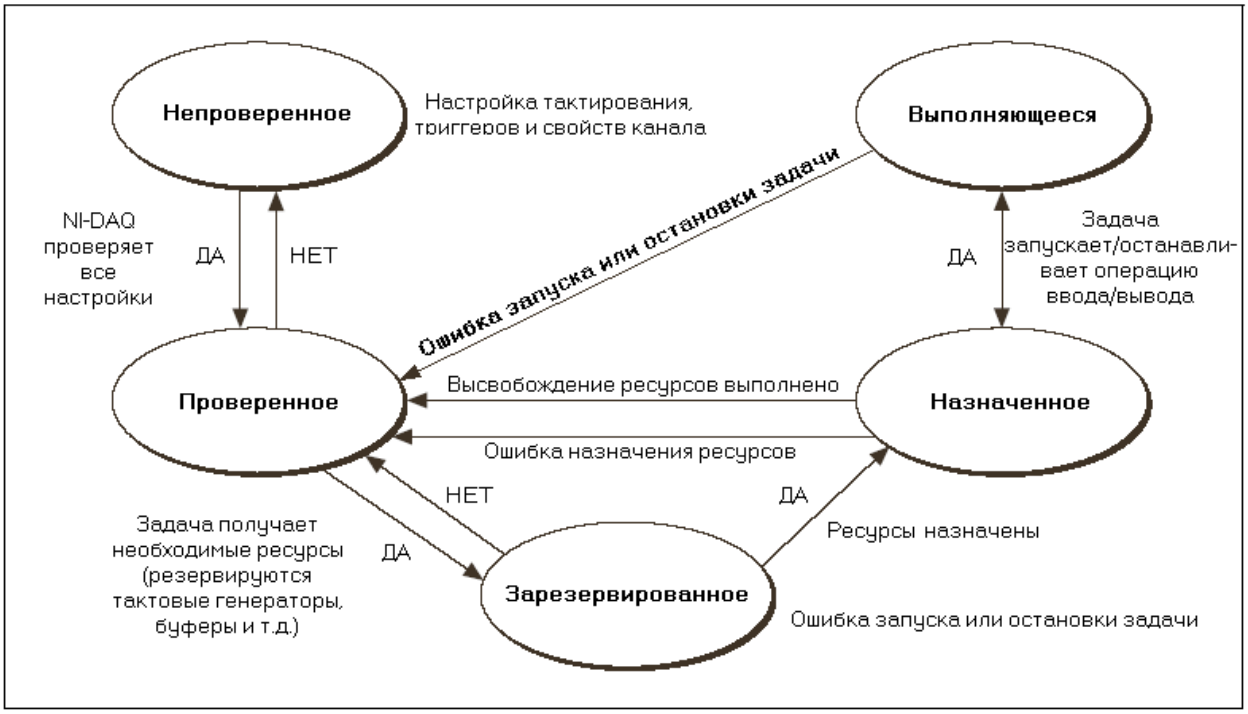
- **Committed (Назначенное)** – Когда задача назначена, NI-DAQmx программирует некоторые настройки ресурсов системы. Среди них могут быть частота тактового генератора или пределы входного напряжения в канале устройства, направление триггерной линии в шасси PXI или размер буферной памяти в компьютере. Другие установки, такие как число выборок, не могут быть запрограммированы при назначении задачи, поскольку их необходимо задавать каждый раз при старте задачи. Когда задача назначается, она переходит из зарезервированного состояния в

назначенное. Вы можете явно задать этот переход, вызывая ВП DAQmx Control Task с вводом **action (действие)** в режиме назначить (commit). Как правило, переход в назначенное состояние осуществляется всегда. Если все же переход не произошел, что является исключительным событием, задача остается в зарезервированном состоянии. Если установки ресурсов, используемых задачей, запрограммированы, задача успешно назначается и переходит в назначенное состояние.

- **Running (Выполнение)** – Когда задача начинает выполнять определенную операцию, она переходит из назначенного состояния в состояние выполнения. Вы можете явно задать этот переход, вызывая ВП DAQmx Start. Обратите внимание, что запуск задачи не обязательно означает запуск сбора данных или генерацию осциллограммы. Например, свойства тактирования и триггера могли быть заданы таким образом, что выборка данных не будет получена до тех пор, пока не наступит триггерное событие. Как правило, переход в состояние выполнения осуществляется всегда. Если все же переход не произошел, что является исключительным событием, задача остается в зарезервированном состоянии, которое возвращает задачу в проверенное состояние. Если задача начала выполнять определенную операцию, значит, она успешно запущена и перешла в состояние выполнения.

Если вы явно вызываете переход состояния, который уже произошел, то повторяться он не будет и это не вызовет ошибки. Например, если задача уже зарезервировала свои ресурсы и, следовательно, находится в зарезервированном состоянии, то вызов ВП DAQmx Control Task с входным параметром **action** в режиме reserve не приведет к повторному резервированию ресурсов.

Следующая иллюстрация отображает структуру модели состояния задачи.



Сравнение явных и неявных переходов состояния

Когда необходимо задавать явные переходы между состояниями, а когда можно быть уверенным, что задача сама совершит неявные переходы? Ответ зависит от вашего приложения. В следующем списке перечислены случаи, когда необходимо использовать

явные переходы между состояниями:

- **Verify** – Если пользователи вашего приложения интерактивно настраивают задачу, устанавливая различные свойства каналов, тактирования и триггеров, то явно определяйте задачу, чтобы, когда это необходимо, оповещать пользователей, что они установили для свойства неработоспособное значение.

- **Reserve** – В следующих случаях необходимо явно резервировать задачу: приложение содержит много различных задач, которые используют один и тот же набор ресурсов, одна из задач непрерывно повторяет выполнение своей операции, и вы хотите быть уверенным, что в момент ее выполнения никакая другая задача не получает этих ресурсов.

  Резервирование определенной задачи приводит к тому, что последняя эксклюзивно получает необходимые ресурсы, в то время как остальные задачи не могут получить этих ресурсов. Например, если приложение содержит две задачи, каждая из которых совершает последовательность измерений, и вы хотите быть уверенным, что каждая задача завершит выполнение своей последовательности прежде, чем начнется другая, то можете использовать явное резервирование каждой задачи перед началом ее последовательности измерений.

- **Commit** – Если приложение совершает несколько измерений или генераций, повторяя запуск и остановку задачи, явно назначайте задачу. Явное назначение задачи приведет к тому, что она эксклюзивно получит необходимые ресурсы, и будут запрограммированы настройки этих ресурсов. При явном назначении задачи эти операции будут совершены лишь однажды, а не каждый раз при запуске задачи, что значительно сократит время, необходимое для запуска. Например, если приложение циклически совершает аппаратно синхронизированные измерения, то время, необходимое для запуска задачи, может очень сильно уменьшиться, если вы явно назначите задачу перед циклами этих измерений. Явное назначение задачи также требуется, если необходимы дополнительные операции считывания выборок, полученных задачей, после остановки задачи.

- **Start** – Если приложение циклически совершает операции чтения или записи, используйте явный запуск задачи. Запуск задачи резервирует используемые ресурсы, программирует некоторые настройки этих ресурсов и начинает выполнение заданной операции. При явном запуске задачи эти действия совершаются единожды, а не при каждом выполнении операций чтения или записи. Этот процесс может значительно уменьшить время, необходимое для выполнения каждой операции чтения или записи. Например, приложение циклически производит выборку одной точки данных или, что то же, программно синхронизированные операции чтения. Тогда, если перед этими циклами вы явно запустите задачу, то время, необходимое для каждой операции чтения, может заметно уменьшиться.

Неявные переходы между состояниями

Хотя вы можете явно задавать переходы задачи между ее состояниями, вам редко понадобится такой уровень детального контроля. Существует два сценария, когда задача неявно переходит из одного состояния в другое:

- **Задача проходит через несколько состояний одновременно** – Для достижения определенного состояния некоторые переходы между состояниями требуют, чтобы

задача прошла через одно или несколько состояний. Например, если задача находится в непроверенном состоянии, а вы вызываете ВП DAQmx Control Task с режимом reserve для ввода **action**, то задача становится проверенной и зарезервированной. Следовательно, произошел переход из непроверенного состояния в проверенное и резервированное. В большинстве приложений явный переход задачи в каждое состояние не будет полезным. Вместо этого вызывайте только ты переходы, которые действительно необходимы, а задача сама неявно осуществит остальные.

- **Операции, требующие переходов между состояниями** – Вы неявно переводите задачу в новое состояние, когда выполняется операция, требующая, чтобы задача находилась в заданном состоянии. Если задача не находилась в требуемом состоянии, то она неявно перейдет в него. Ниже приведены некоторые операции, требующие перехода между состояниями:
  - Запрос значения свойства/атрибута неявно проверяет задачу. Эта проверка необходима, чтобы возвратить точные приведённые значения некоторых свойств. Поскольку приведенное значение свойства/атрибута часто зависит от других свойств/атрибутов, задача как целое должна быть проверена перед вычислением значения свойства. Поскольку задача может проверяться, когда вы запрашиваете значение свойства/атрибута, NI-DAQ может возвратить ошибку, свидетельствующую о том, что значение свойства/атрибута неработоспособно.

  - Вызов ВП DAQmx Read неявно назначает задачу, если перед этим задача еще не была назначена. Если значение свойства Auto Start – True (Истина), а задача не была запущена, то в дополнение к назначению она неявно запускается.

  - Вызов ВП DAQmx Write неявно назначает задачу. Если значение свойства Auto Start – True, то в дополнение к этому задача неявно запускается.
    Например, задача находится в зарезервированном состоянии, значение свойства Auto Start – True, и вы вызываете ВП DAQmx Read, тогда задача неявно назначается и запускается. То есть перед началом операции считывания задача переходит из зарезервированного состояния в назначенное и далее в состояние запуска.

В некоторых приложениях явный переход задачи в какое-либо состояние не является необходимым. Вместо этого просто запустите требуемую операцию, а задача неявно выполнит все остальное.

Итоги

- Стандартное оборудование сбора данных состоит из терминальной коробки, кабеля и DAQ устройства.

- Типичное DAQ устройство имеет разъемы, АЦП, ЦАП, линии цифрового ввода/вывода и счетчики.

- Шаг дискретизации – это наименьшее изменение напряжения, которое может обнаружить DAQ устройство, и он зависит от разрешающей способности, рабочего диапазона и усиления.

- DAQ устройство может работать в следующих режимах заземления:

  – Дифференциальном;

  – С общим заземленным проводом;

  – С общим незаземленным проводом;

- LabVIEW взаимодействует с DAQ устройствами посредством инструментального драйвера NI-DAQ

- MAX используется для помощи в настройке и проверке измерительной системы путем вызова DAQ Assistant, просмотра панелей тестирования и обновления программного обеспечения.

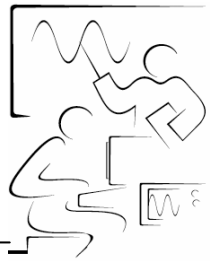
- Вы можете использовать DAQ Assistant, вызывая его из MAX или LabVIEW, для создания и редактирования каналов, задач и шкал.

- Палитра **DAQmx - Data Acquisition** содержит виртуальные приборы, необходимые для выполнения требуемых операций сбора данных и генерации.

- Модель состояния задачи позволяет детально управлять DAQmx задачей. Для большинства приложений неявный переход между состояниями вполне достаточен, хотя вы можете явно задавать переходы между состояниями, используя ВП DAQmx Control Task.

Примечания

Занятие 3
Триггеры



На этом занятии описываются теория и основные идеи применения аналоговых и цифровых триггеров.

Задачи:

A. Аналоговые и цифровые триггеры
B. Типы триггеров
C. Как использовать DAQ Assistant для проверки и настройки триггеров

A. Триггеры

Триггером называется сигнал, вызывающий действие, такое как сбор данных. Триггер используется, когда необходимо начать измерение в определенное время. Например, предположим, что вы хотите проверить отклик схемы на импульсное воздействие. Можно использовать этот импульс в качестве триггера, который сообщает измерительному устройству, что необходимо начать сбор данных. Если вы не будете использовать триггер, то должны будете начать сбор данных перед тем, как подать тестовый импульс.

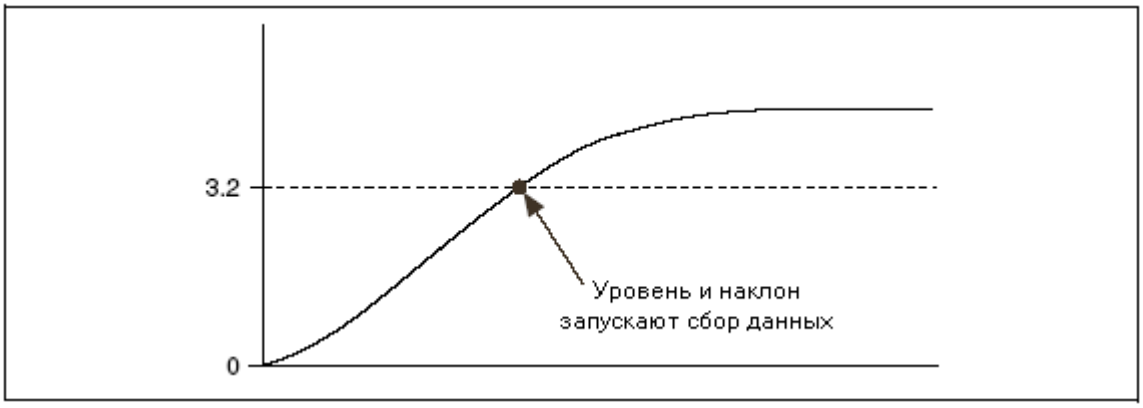
При настройке триггера необходимо выяснить два главных вопроса: какое действие должен вызвать триггер и какого типа триггер использовать.

Если нужно, чтобы триггер начал процесс измерения, используйте триггер запуска (Start Trigger). Если вы хотите получить данные до того, как возникло триггерное событие, используйте опорный триггер (Reference Trigger), известный также как триггер остановки, для захвата выборок до и после триггерного события, которое становится в этом случае исходной точкой отсчета для выборок.

Кроме задания действия, обуславливаемого триггером, необходимо определить источник триггера. Если вы хотите, чтобы триггером являлся аналоговый сигнал, используйте аналоговый триггер (Analog Trigger) по фронту или аналоговый триггер по двум фронтам. Если триггерный сигнал цифровой, то можно использовать цифровой триггер (Digital Trigger) по фронту с PFI контактом в качестве источника.

Аналоговые триггеры по фронту

Аналоговый триггер по фронту срабатывает, когда аналоговый сигнал удовлетворяет поставленному вами условию, такому как уровень сигнала и нарастающий/спадающий фронт сигнала. Когда измерительное устройство распознает триггерное условие, оно выполняет действие, которое вы соотнесли с триггером, такое как запуск измерения или запоминание номера выборки, полученной в момент возникновения триггерного события. Например, рассмотрим устройство, следящее за температурой в системе. Если вы хотите начать сбор данных, когда температура возрастет до 50 °C, настройте так, чтобы аналоговый триггер возник, когда сигнал с датчика температуры будет иметь нарастающий фронт и уровень напряжения соответствовать 50 °C. Следующая иллюстрация показывает триггерное событие при нарастающем фронте и уровне 2.7 вольт.

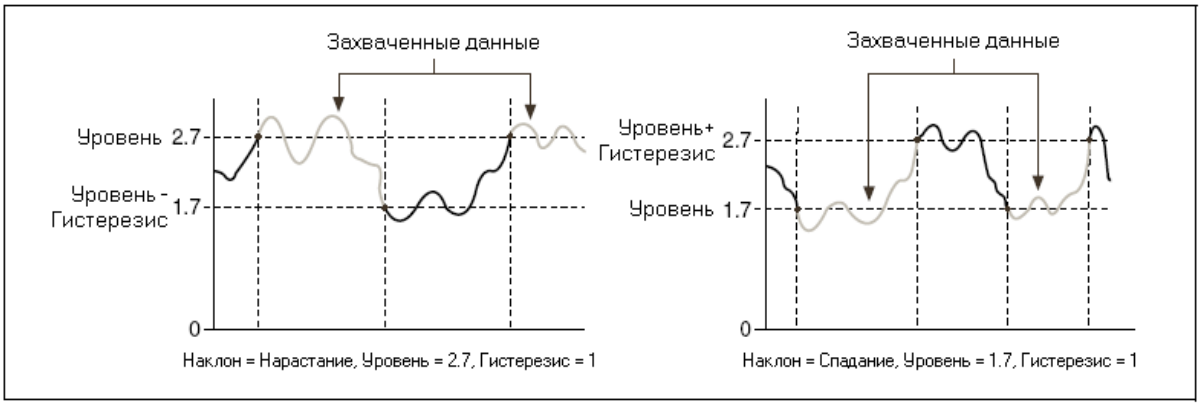


Гистерезис

Гистерезис добавляет интервал срабатывания выше или ниже триггерного уровня и часто используется для уменьшения вероятности ложного срабатывания триггера из-за помех или дрожания сигнала. При использовании гистерезиса совместно с нарастающим фронтом сигнала триггерное событие наступает, когда сигнал изменяется, начинаясь ниже порогового уровня **level** (**threshold level**), и затем проходит выше этого уровня, пересекая его. Снятие триггера происходит, когда сигнал спадает, пересекая уровень **level** минус **hysteresis** (гистерезис).

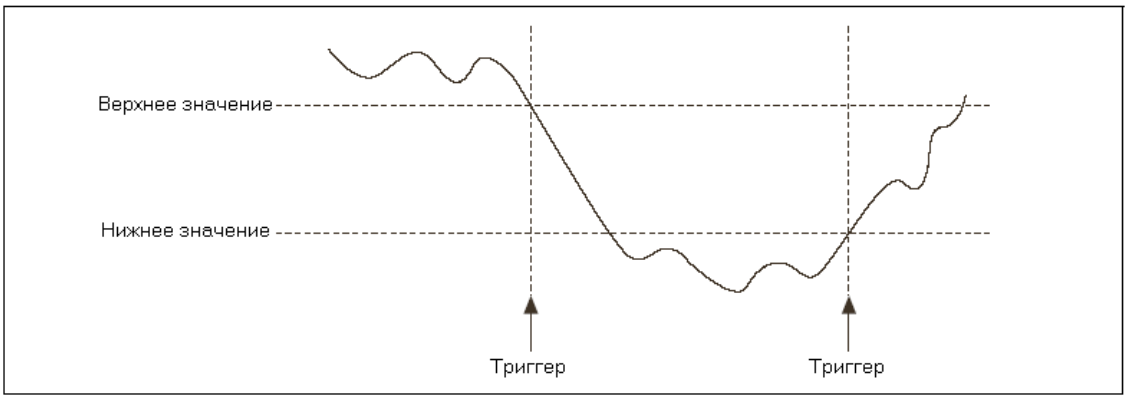
При использовании гистерезиса совместно со спадающим фронтом сигнала триггерное событие наступает, когда сигнал изменяется, начинаясь с уровня выше порогового **level** (**threshold level**), и затем проходит ниже этого уровня, пересекая его. Снятие триггера происходит, когда сигнал нарастает, пересекая уровень **level** плюс **hysteresis**.

Следующая иллюстрация демонстрирует захват данных с использованием гистерезиса при нарастающем и спадающем фронтах сигнала на уровне 2.7 вольт.

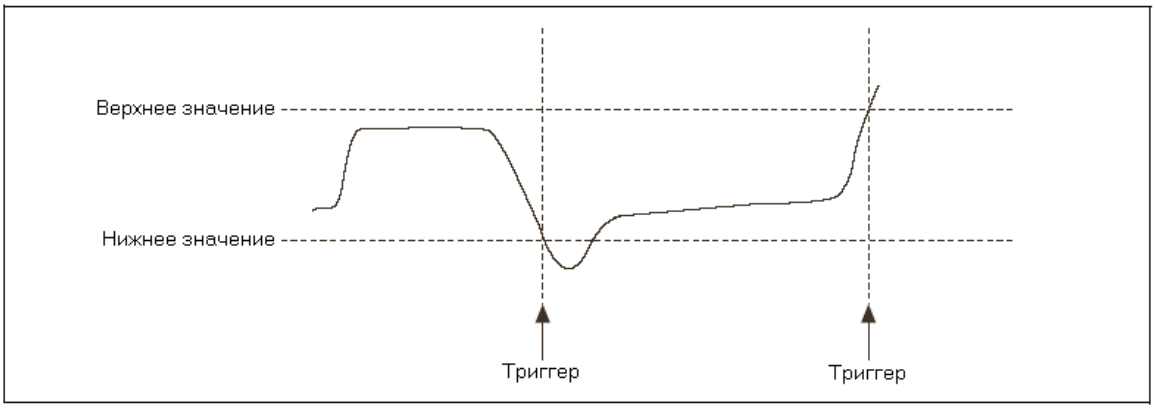


Аналоговый триггер по двум фронтам

Аналоговый триггер по двум фронтам (analog window trigger) возникает, когда аналоговый сигнал входит или выходит из диапазона, заданного двумя уровнями напряжений. Задать уровни напряжений можно, определяя верхнее и нижнее значения (window top/bottom value). На следующем рисунке показано, как при помощи триггера получаются данные, когда сигнал входит в заданный диапазон.

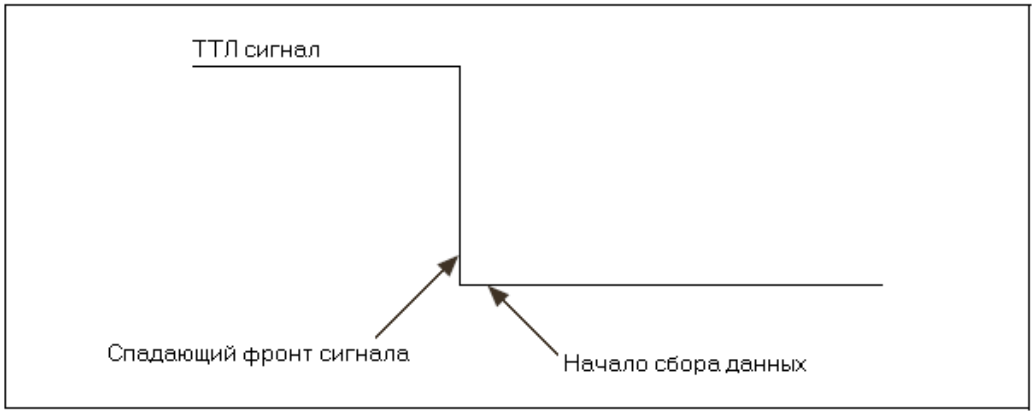


Следующий рисунок иллюстрирует сбор данных, когда сигнал выходит из заданного диапазона.



Цифровой триггер по фронту

Цифровым триггером по фронту обычно является TTL сигнал, имеющий два дискретных уровня: высокий и низкий. Цифровой сигнал имеет спадающий фронт, когда он изменяется с высокого уровня до низкого. Сигнал имеет нарастающий фронт, когда изменяется с низкого уровня до высокого. Таким образом, вы можете создать триггеры запуска или остановки на базе нарастающего или спадающего фронта цифрового сигнала, как это показано на следующей иллюстрации. Как правило, вы будете присоединять цифровые триггерные сигналы к PFI контактам измерительных устройств National Instruments.



Действия, вызываемые триггерами

Триггеры могут вызвать четыре действия. Более того, их обычно называют по действию, которое они инициируют:

- Триггер (Advance Trigger) – Вызывает выполнение коммутатором следующего входа в списке инструкций.

- Триггер паузы (Pause Trigger) – Приостанавливает сбор данных. Снятие этого триггера возобновляет сбор данных.

- Опорный триггер (Reference Trigger) – Устанавливает точку отсчета в последовательности входных данных. Данные, собранные до этой точки, называются

опережающими (pretrigger samples). Данные, собранные после этой точки, называются запаздывающими (posttrigger).

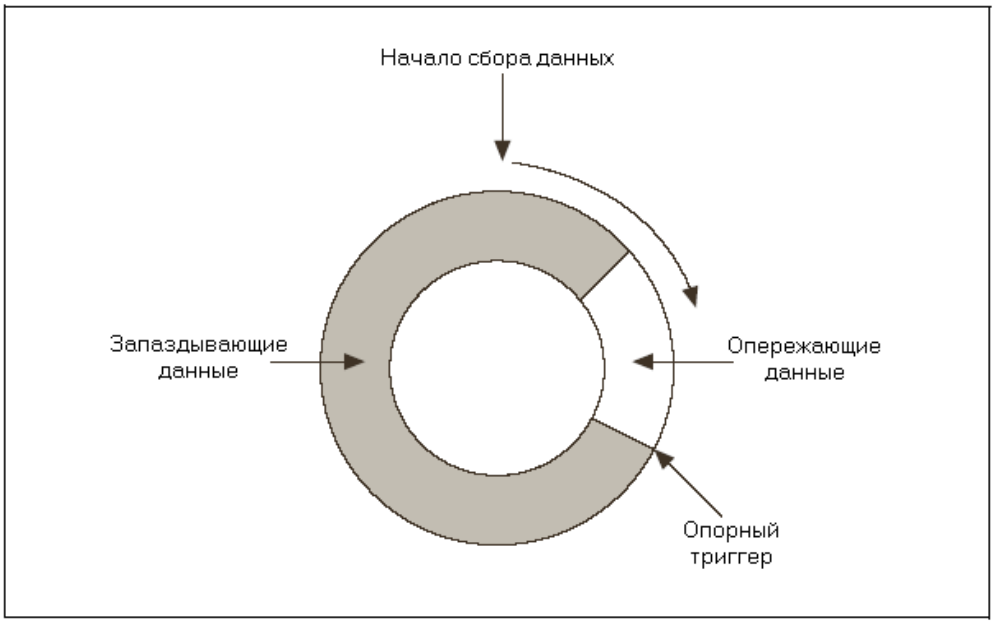


Рисунок 3-1. Опорный триггер

- Триггер запуска (Start Trigger) – Начинает сбор данных или генерацию сигнала.

В данном курсе будут описаны только триггеры запуска, паузы и опорные триггеры.

Примечание. Не все устройства E серии поддерживают аналоговые триггеры. Чтобы определить, поддерживает ли ваше устройство эту возможность, обращайтесь к документации для этого устройства.

Упражнение 3-1. Создание и настройка триггеров с использованием Помощника по сбору данных в LabVIEW

Задача: Использовать Помощника по сбору данных в LabVIEW для изучения и настройки различных типов аналоговых и цифровых триггеров.

1. Подайте синусоидальный сигнал с функционального генератора на аналоговый ввод 1 и меандр с функционального генератора на аналоговый ввод 2.

2. Запустите LabVIEW и откройте новый ВП.

Лицевая панель

3. Поместите элемент управления DAQmx Task Name, расположенный в палитре **Controls»All Controls»I/O»DAQmx Name Controls** на лицевую панель. Вызовите контекстное меню этого элемента и выберите **New Task (DAQ Assistant) (Новая задача)**.

4. Используйте Помощника по сбору данных (DAQ Assistant) для создания новой задачи со следующими установками:

- **Measurement Type**: `Analog Input`
- **Sensor Type**: `Voltage`
- **Channels**: Выберите **Create New Local Channels**, затем выделите каналы `ai0` и `ai1` соответствующего DAQ устройства, удерживая нажатой клавишу <Shift>.
- **Name**: `Trigger Task`

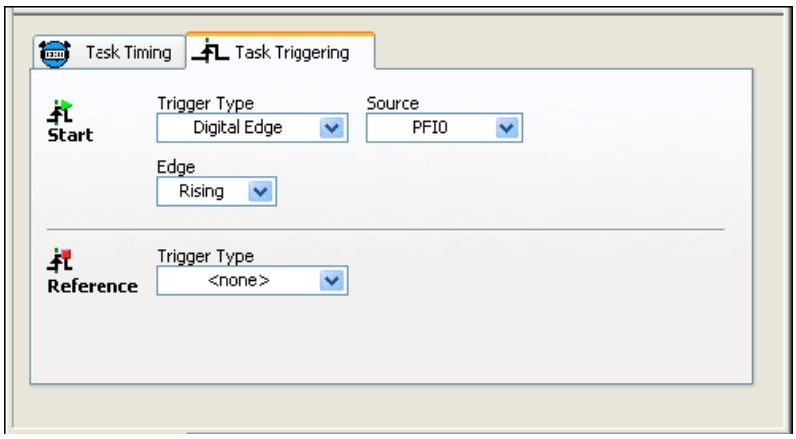
5. Нажмите кнопку **Finish**.

Триггеры запуска

Следующие шаги демонстрируют создание аналогового и цифрового триггеров запуска по фронту.

1. В Помощнике по сбору данных выберите вкладку **Task Triggering**. В разделе **Start** выберите из выпадающего меню **Trigger Type** (**Тип триггера**) опцию **Digital Edge**.

2. Из выпадающего меню **Source** (**Источник**) выберите **PFI0**, а из выпадающего меню **Edge (Фронт)** опцию **Rising (Нарастающий)**. Кнопка цифрового триггера на испытательной коробке соответствует сигнальной линии PFI0/TRIG1.



3. Нажмите кнопку **Test**.

4. Панель тестирования остается пустой, поскольку для сбора данных задача ждет нарастающего фронта сигнала в линии PFI0. Нажмите кнопку цифрового триггера на испытательной коробке, чтобы создать триггерное событие.

5. Измените шкалу оси Y, установив минимальное значение 0.2 и максимальное 0.3. Обратите внимание на приблизительную величину сигнала в канале Voltage 0 и запишите его для памяти. Это будет необработанным значением напряжения с датчика температуры. Нажмите кнопку **OK**, чтобы выйти из панели тестирования.

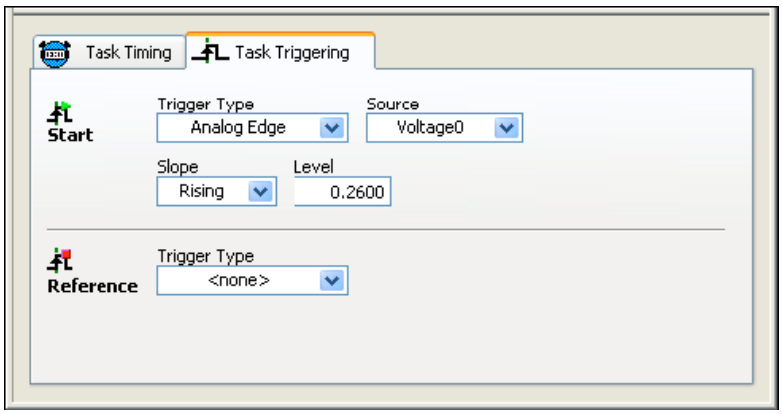
6. Измените пределы входного напряжения в канале Voltage0 на 0 и –1.

7. Поскольку для задачи вы выбрали каналы 0 и 1, они перечислены в возрастающем порядке. Первый канал в порядке просмотра может являться триггерным для остальных. Установка канала ai0 первым в порядке просмотра указывает NI-DAQmx, что вы хотите, чтобы триггер **Trigger Task** срабатывал по сигналу в канале датчика температуры на испытательной коробке.

Примечание. Для выполнения шагов 8 – 12 необходимо устройство с триггером аналогового ввода. Если в ваш компьютер такое устройство не установлено, пропустите раздел *Опорные триггеры*.

8. В помощнике по сбору данных зайдите во вкладку **Task Triggering**. В разделе **Start** выберите **Analog Edge** из выпадающего меню **Trigger Type**.

9. Выберите опцию **Voltage0** из выпадающего меню **Source** и опцию **Rising** из меню **Slope**. Установите величину **Level** немного большей, чем напряжение, соответствующее температуре окружающей среды, которое вы записали в пункте 5.



10. Нажмите кнопку **Test**.

11. Поместите указательный палец над датчиком температуры, чтобы увеличить ее значение. Когда температура достигнет величины **Level**, начнется сбор данных.

Примечание. Если триггер не срабатывает, попробуйте изменить пределы входного напряжения в канале Voltage0, сужая его диапазон. Это уменьшит шаг дискретизации и улучшит разрешающую способность устройства при работе с сигналом запуска.

12. После получения данных, нажмите кнопку **Stop** и далее **OK** для выхода из панели тестирования.

Опорные триггеры (Reference Triggers)

Следующие шаги демонстрируют использование опорных триггеров.

1. Присоедините выход A импульсного датчика положения к аналоговому вводу 1 на испытательной коробке.

2. Удалите нулевой канал аналогового ввода из задачи.

3. Нажмите на вкладку **Task Timing**. Настройте следующие установки:

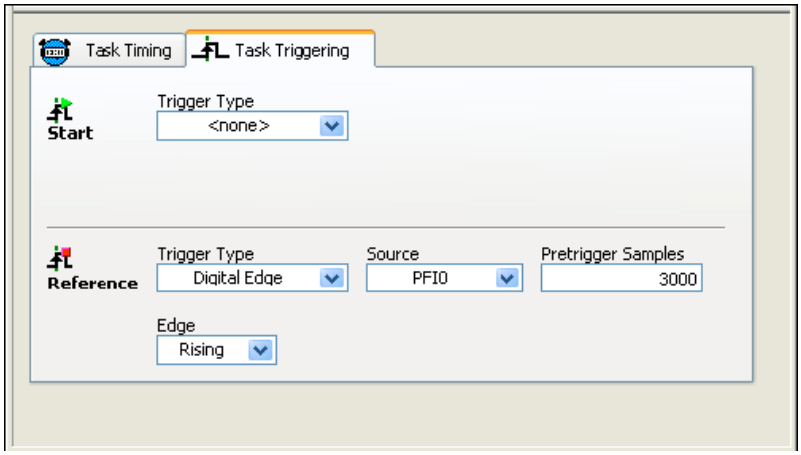
- `Acquire N Samples (Получить N выборок)`
- **Samples to Read (Выборок для чтения)**: `5000`
- **Rate (Hz) (Частота (Гц))**: `1000`
- **Advanced Clock Settings - Clock Type (Дополнительные настройки тактирования – Источник тактирующих импульсов)**: `Internal (Внутренний)`

4. Нажмите вкладку **Task Triggering**. В разделе **Start** выберите из выпадающего меню **Trigger Type** опцию **none**.

5. В разделе **Reference** из меню **Trigger Type** выберите **Digital Edge** и из меню **Source** опцию **PFI0**.

Pretrigger Samples (Опережающие выборки) – это минимальное число выборок, которое необходимо получить, чтобы считать, что возникло опорное триггерное событие. Минимальное допустимое NI-DAQmx число опережающих выборок равно двум. Число запаздывающих выборок равно числу выборок для чтения **Samples to Read** (задаваемому

во вкладке **Task Timing**) минус опережающие выборки **Pretrigger Samples**.

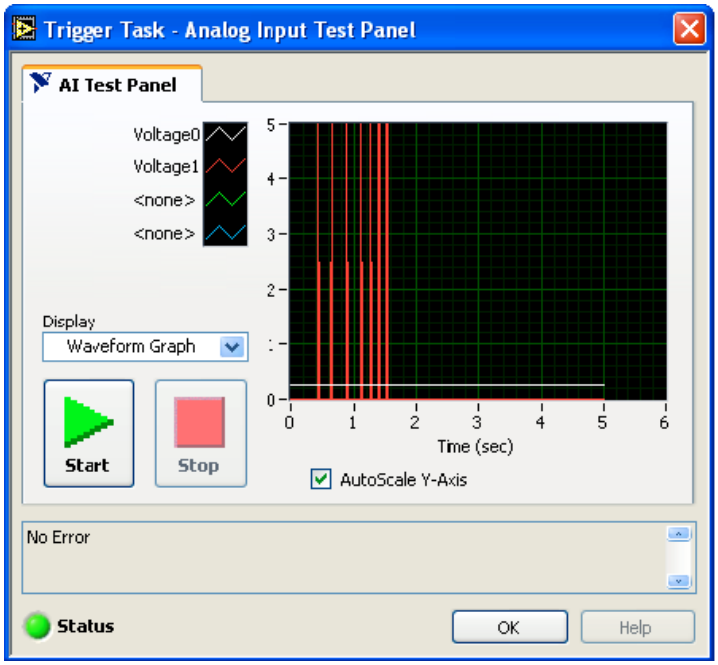


Установите для **Pretrigger Samples** значение 3000. Так как полное число выборок равно 5000 и частота выборки 1000 Гц, то в течение первых трех секунд будут получены опережающие выборки.

6. Нажмите кнопку **Test**.

7. Вращайте ручку импульсного датчика положения в течение примерно трех секунд, затем нажмите кнопку цифрового триггера на испытательной коробке. Число пичков, отображаемых на панели тестирования, соответствует числу щелчков при повороте ручки импульсного датчика положения.

На следующем примере таких щелчков при повороте ручки импульсного датчика положения было три, и после этого была нажата кнопка цифрового триггера. Каждому щелчку соответствует пик на графике амплитудой 5 вольт.



8. Нажмите кнопку **OK** для выхода из панели тестирования.

9. Нажмите кнопку **OK** для выхода из Помощника по сбору данных.

Генерация кода в NI-DAQmx

Следующие этапы демонстрируют способность драйвера NI-DAQmx автоматически создавать код LabVIEW на основе установок тактирования и триггеров для задачи или канала, которые вы настроили в Помощнике по сбору данных.

1. Вызовите контекстное меню элемента управления **DAQmx Task Name** на лицевой панели и выберите опцию **Generate Code»Configuration and Example (Сгенерировать код»Настройка и пример)**. После этого сгенерируется LabVIEW код для настройки задачи на основе установок, выбранных вами в Помощнике по сбору данных. Выбор этой опции также сгенерирует код для примера измерительного ВП. В этом случае виртуальный прибор будет осуществлять ввод аналогового сигнала, поскольку именно такой тип измерения вы выбрали для задачи.

2. Посмотрите на блок-диаграмму, и вы увидите появившийся код. На лицевой панели возникнет график осциллограммы, поскольку вы настроили задачу так, чтобы она возвратила N выборок.

3. Запустите ВП. Покрутите ручку импульсного датчика положения в течение примерно трех секунд, затем нажмите кнопку цифрового триггера на испытательной коробке.

4. Закройте ВП и выйдете из LabVIEW. ВП сохранять не надо.

Конец упражнения 3-1

Итоги

- Триггеры могут вызывать следующие действия: запуск, установку опорной точки, паузу и продвижение.

- Триггер может срабатывать по фронту цифрового сигнала.

- Триггер может срабатывать по фронту либо по двум фронтам аналогового сигнала.

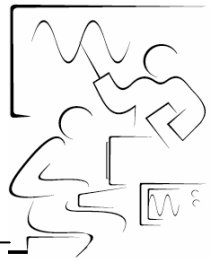
- Большинство устройств сбора данных поддерживают использование аналоговых триггеров.

- Аналоговые триггеры не требуют больших вычислительных ресурсов.

- Используйте Помощника по сбору данных для проверки и настройки триггеров для задач и каналов NI-DAQmx. Вы также можете использовать Помощника по сбору для генерации кода в LabVIEW.

Примечания

Занятие 4
Аналоговый ввод



На этом занятии описываются примеры программ для сбора аналоговых сигналов, и функции LabVIEW, которые вы будете использовать совместно с виртуальными приборами NI-DAQmx.

Задачи:

A. Обзор ввода аналоговых сигналов
B. Фильтры защиты от наложения частот
C. Использование ВП DAQmx Read
D. Поточечный сбор данных
E. Буферизированный сбор данных
F. Сбор данных с использованием триггера

A. Аналоговый ввод

Цифровая обработка сигналов обладает многими преимуществами. В связи с этим перед обработкой в компьютере аналоговые сигналы преобразуются в цифровую форму. Цифровым сигналом называется такой сигнал, который может принимать ограниченный ряд значений зависимых и независимых переменных. Независимыми переменными обычно являются время или координаты, а зависимыми – амплитуда.

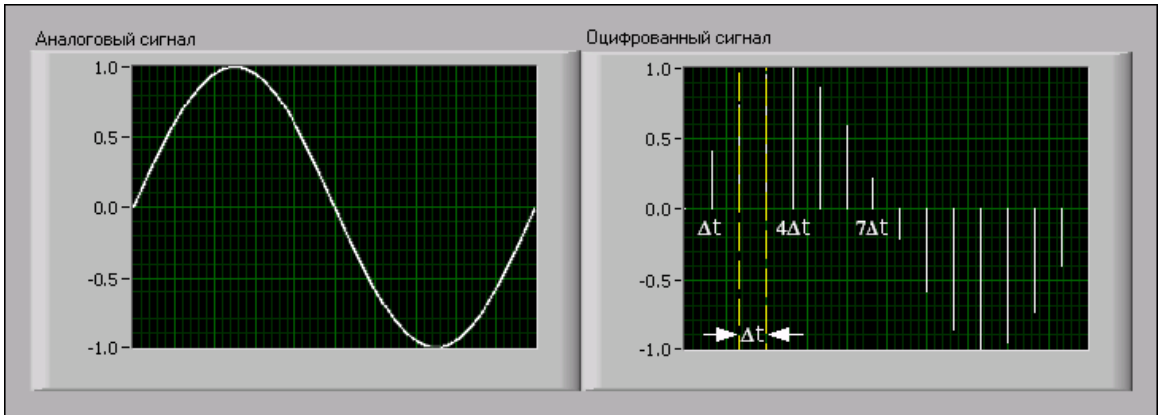
Цифровые (дискретные) сигналы окружают нас повсюду. Телефонные компании используют цифровые сигналы для представления человеческого голоса. Радио, телевизионные и высококачественные звуковые системы – все используют поэтапное преобразование сигнала в цифровую форму из-за ее безукоризненной точности воспроизведения, подавления шумов и больших возможностей обработки сигналов. Снимки NASA удаленных планет и космического пространства часто подвергаются цифровой обработке для удаления шумов и выделения полезной информации. Данные в экономической области, результаты переписи населения и цены акций на фондовой бирже – все это доступно в цифровом виде.

Дискретизация сигналов

Для получения аналогового сигнала вы, прежде всего, должны преобразовать его в дискретное представление. На практике под этим понимается использование аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Рассмотрим аналоговый сигнал $x(t)$, который дискретизируется каждые t секунд. Временной интервал t называют интервалом дискретизации или периодом дискретизации. Обратная величина, $1/t$, известна как частота дискретизации или частота выборки с единицей измерения – количество выборок в секунду. Каждое из дискретных значений $x(t)$ в моменты времени $t = 0, t, 2t, 3t$, и т.д. называются выборками. Таким образом, $x(0)$, $x(t)$, $x(2t)$, ... образуют полный набор выборок. Сигнал $x(t)$ может быть представлен дискретным набором выборок, как это показано в следующем уравнении:

$$\{x(0), x(t), x(2t), x(3t), \ldots, x(kt), \ldots\}$$

Следующий рисунок демонстрирует аналоговый сигнал и соответствующую ему оцифрованную версию. Выборки заданы в дискретные моменты времени.



В данном курсе мы будем использовать следующую условную запись для представления отдельных выборок:

$x[i] = x(it)$, для $i = 0, 1, 2, \ldots$

Если N выборок были получены для сигнала $x(t)$, то он может быть представлен последовательностью:

$X = \{x[0], x[1], x[2], x[3], \ldots, x[N-1]\}$

Она известна как дискретное представление или дискретизированная версия сигнала $x(t)$. Обратим внимание, что элементы последовательности $X = \{x[i]\}$ нумеруются целочисленной переменной i и не содержат какой-либо информации и частоте выборки. Зная только значения выборок, содержащихся в X, вы не узнаете, с какой скоростью производилась выборка (оцифровка).

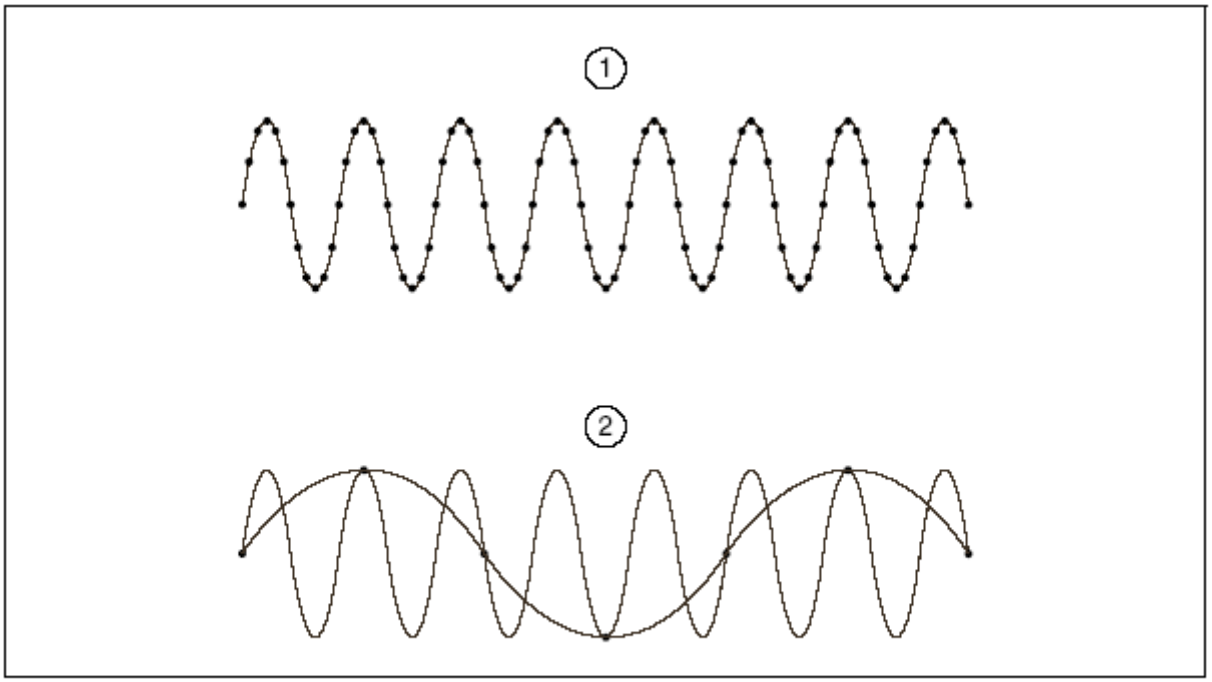
Частота выборки

Один из наиболее важных параметров измерительной системы с аналоговым вводом или выводом является частота, с которой измерительное устройство производит выборку входного сигнала или генерацию выходного. Частота сканирования или частота выборки в NI-DAQmx определяет, насколько часто имеет место аналого-цифровое или цифро-аналоговое преобразование. При большей частоте выборки собирается больше точек за данное время, что позволяет построить лучшее представление исходного сигнала, чем при низкой частоте выборки. Генерация одногерцового сигнала с использованием 1000 точек на период при частоте 1000 выборок в секунду создает гораздо более точное представление, чем использование 10 точек на период при частоте 10 Выб/сек.

Наложение частот

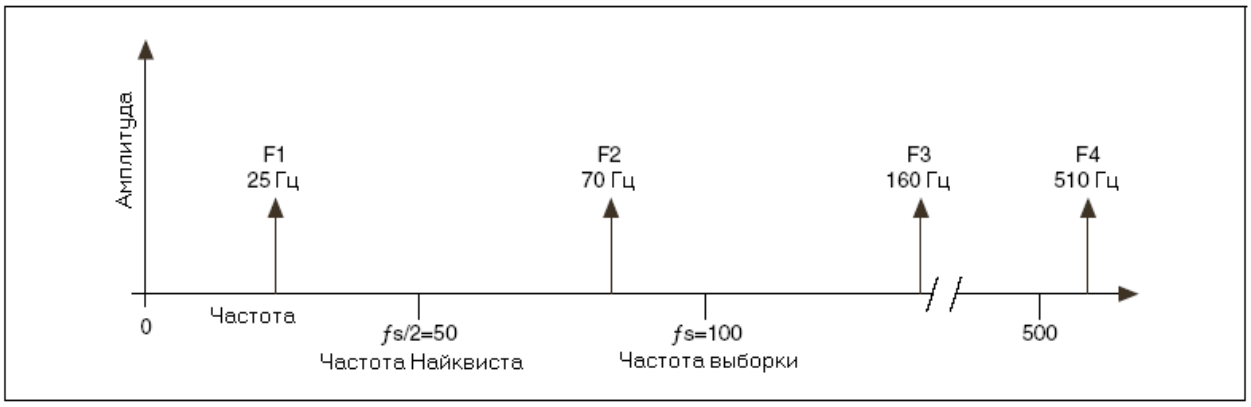
Слишком низкая частота выборки приводит к такому явлению, как наложение частот (aliasing), что вызывает искажение в представлении аналогового сигнала. Недостаточная скорость оцифровки является причиной того, что сигнал выглядит так, как будто его частота отлична от действительной. Чтобы избежать наложения частот оцифровку производят с частотой, большей частоты самого сигнала.

Следующая иллюстрация показывает удовлетворительно оцифрованный сигнал и эффект наложения частот из-за недостаточной частоты выборки.

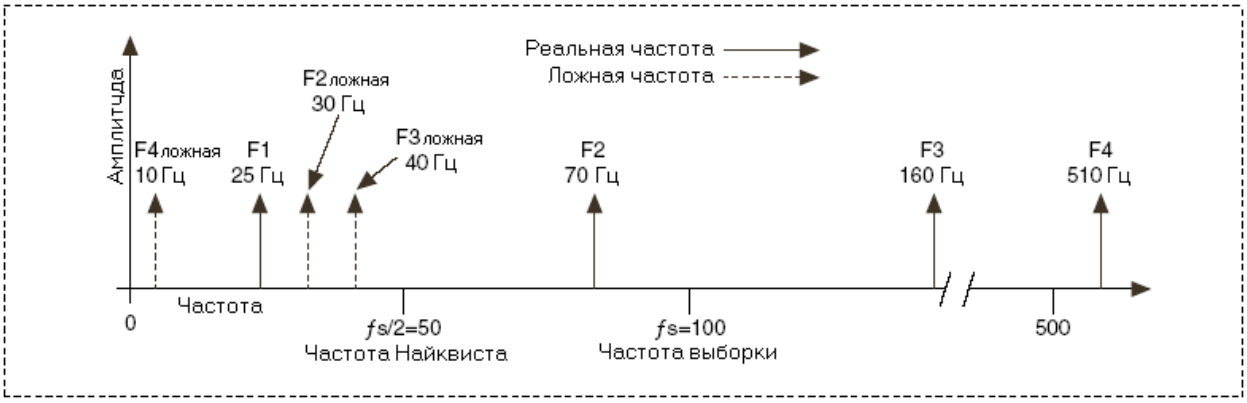


Для точного представления частоты сигнала при измерениях вы должны производить выборки с частотой, большей удвоенной максимальной частотной компоненты сигнала, в соответствии с теоремой Найквиста. Частота Найквиста – это максимальная частота сигнала, при которой его можно точно представить без эффекта наложения частот с данной частотой выборки. Частота Найквиста равна половине частоты выборки. В сигналах, имеющих частотные компоненты, превышающие частоту Найквиста, появятся ложные низкочастотные составляющие. Частота этой составляющей равна по модулю разности между частотой входного сигнала и наиболее близкой частотой, равной целому числу, умноженному на частоту выборки.

Например, положим, что частота выборки *fs* равна 100 Гц. Предположим также, что входной сигнал содержит компоненты с частотами: 25 Гц, 70 Гц, 160 Гц и 510 Гц, как показано на следующем рисунке.



Частотные компоненты ниже частоты Найквиста (*f*s/2 = 50 Гц) оцифровываются правильно. Это показано на следующей иллюстрации. Частотные компоненты выше частоты Найквиста появляются как побочные. Например, F_1 (25 Гц) появляется на правильной частоте, а F_2 (70 Гц), F_3 (160 Гц) и F_4 (510 Гц) имеют низкочастотные ложные компоненты на частотах 30 Гц, 40 Гц и 10 Гц, соответственно.



Для вычисления ложных частот используйте следующее выражение:

Ложная частота = Абсолютное значение (Наиболее близкая частота, равная целому числу, умноженному на частоту выборки, – Частота входного сигнала)

Например,

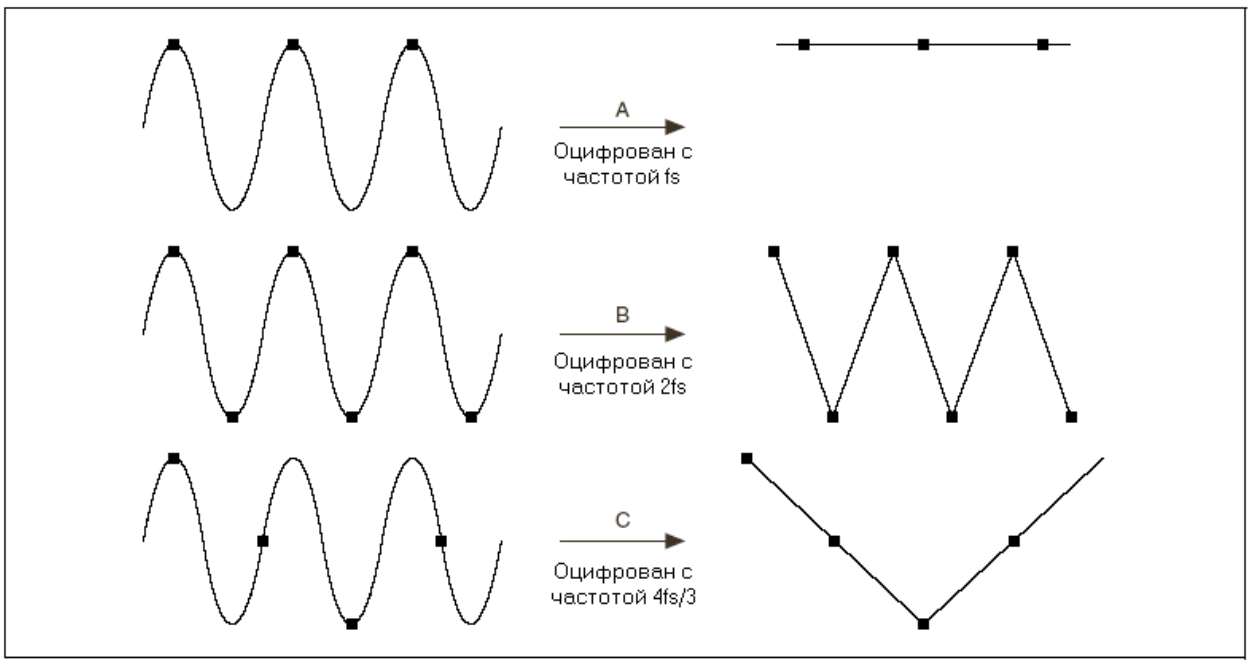
Ложная F_2 = |100 – 70| = 30 Гц

Ложная F_3 = |(2)100 – 160| = 40 Гц

Ложная F_4 = |(5)100 – 510| = 10 Гц

Определение частоты выборки

Возможно, вы захотите осуществлять выборку с максимально возможной частотой для данного измерительного устройства. Однако если вы оцифровываете очень быстро в течение длительных промежутков времени, то вам может не хватить оперативной памяти или дискового пространства для накопления данных. Следующая иллюстрация показывает влияние различных частот оцифровки на принимаемый сигнал.



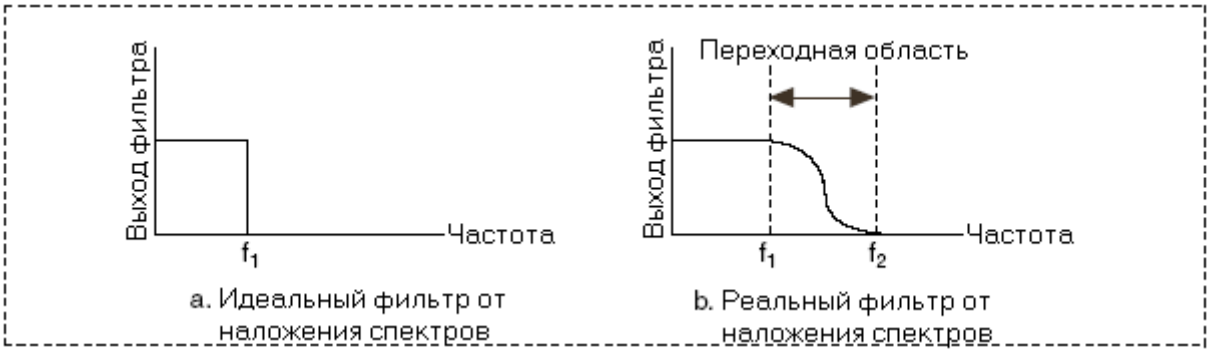
Пример A: оцифровка синусоидального сигнала частотой *f* и с такой же частотой дискретизации *fs*. В результате, полученные выборки образуют постоянный сигнал. Однако если вы увеличите частоту оцифровки до 2*fs*, то оцифрованная осциллограмма будет иметь ту же частоту (или то же количество циклов), что и исходная осциллограмма, но будет выглядеть как треугольный сигнал, что показано на Примере B. Значительно увеличивая частоту дискретизации по сравнению с *fs*, вы можете более точно воспроизвести осциллограмму. В Примере C частота выборки равна 4*fs*/3. Поскольку в этом случае частота Найквиста меньше *fs*, (4*fs* /3 x 1)/2 = 2*fs* /3), то будет воспроизводиться осциллограмма с неправильной частотой и формой.

Теорема Найквиста является отправной точкой при выборе достаточной частоты выборки – она должна в два раза превышать максимальную частотную компоненту в сигнале. К сожалению, этой частоты обычно не хватает для практических целей. Сигналы, встречающиеся в реальных приложениях, часто содержат составляющие, лежащие выше частоты Найквиста. Это приводит к добавлению ложных компонент в точно оцифрованный сигнал, что создает искаженные цифровые данные. Поэтому, на практике, выборку производят с частотой, многократно превышающей частоту входного сигнала. Для промышленных приложений является обычным превышение в 5-10 раз.

B. Фильтр защиты от наложения частот

Как вы только что убедились, частота дискретизации должна, по крайней мере, в два раза превышать максимальную частоту оцифровываемого сигнала. Другими словами, максимальная частота входного сигнала должна быть в два меньше или равна половине частоты выборки. Однако как на практике узнать, что это условие точно выполнено? Даже если вы уверены, что измеряемый сигнал ограничен сверху по частоте, наводки паразитных сигналов (таких как силовая сеть или местные радиостанции) могут содержать частоты, превышающие частоту Найквиста. Эти частотные составляющие могут внести ложные компоненты в требуемый частотный диапазон, и, таким образом, приведут вас к неправильным результатам.

Чтобы быть полностью уверенным, что частотные составляющие входного сигнала ограничены, перед АЦП применяют фильтр низких частот (ФНЧ – фильтр, пропускающий низкие частоты и ослабляющий высокие). Этот фильтр называют фильтром защиты от наложения частот, поскольку он предотвращает появление ложных компонент при дискретизации, подавляя высокие частоты (большие частоты Найквиста). Фильтры защиты от наложения спектров – аналоговые фильтры. Следующая иллюстрация показывает переходную характеристику идеального фильтра защиты от наложения спектров.



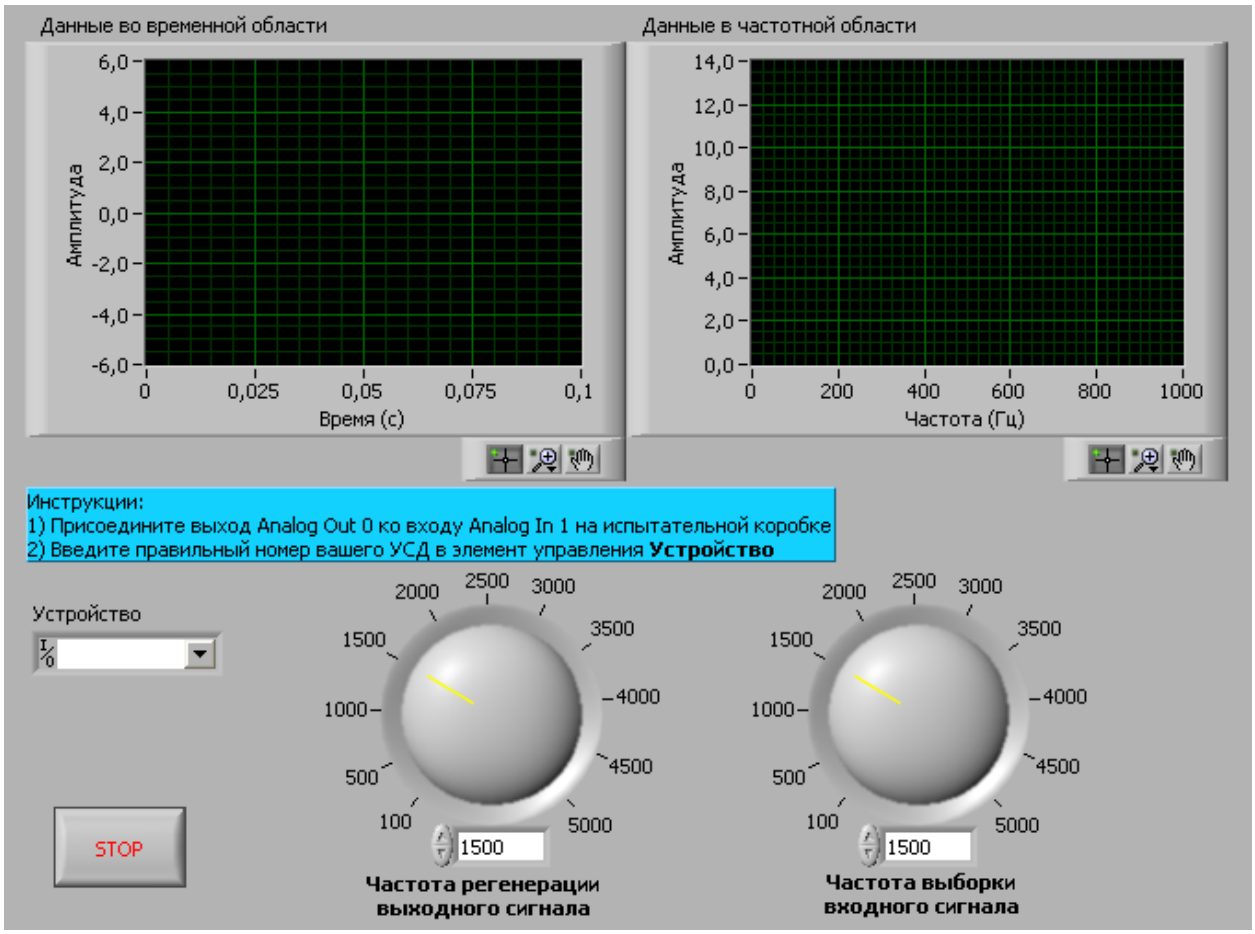
Идеальный фильтр защиты от наложения спектров пропускает все требуемые частоты (ниже f_1) и отсекает нежелательные (выше f_1). Однако идеальных фильтров не существует. На практике действие фильтра выглядит, как показано на рисунке b выше. Реальные фильтры защиты от наложения спектров пропускают все частоты $< f_1$ и отсекают $> f_2$. Область между f_1 и f_2 называют переходной полосой фильтра, в которой происходит постепенное ослабление частотных компонент. Конечно, хотелось бы, чтобы проходили только сигналы с частотами $< f_1$, ведь сигналы в переходной полосе все же могут вызвать появление ложных компонент. Поэтому на практике необходимо оцифровывать с частотой, превышающей удвоенную максимальную частотную компоненту из переходной полосы. Таким образом, частота выборки более чем в два раза превышает максимальную частоту входного сигнала (f_1).

Упражнение 4-1 (необязательное). Частота выборки и наложение спектров

Задача: Продемонстрировать наложение спектров и влияние частоты выборки на входной сигнал.

1. Присоедините аналоговый выход 0 к аналоговому вводу 1 на испытательной коробке.

2. Откройте ВП Sampling Rate Example, расположенный в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`. Появится следующая лицевая панель.



Этот ВП получает синусоидальный сигнал, сгенерированный схемой аналогового вывода DAQ устройства, и отображает полученный сигнал во временной и частотной областях.

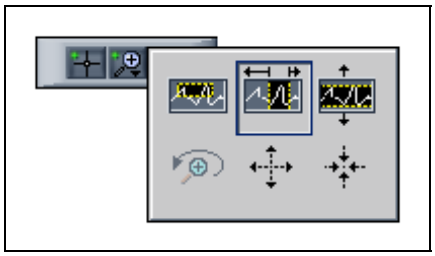
3. Установите следующие значения для элементов управления на лицевой панели:

- **Устройство**: Выберите соответствующий номер вашего устройства сбора данных.
- **Частота регенерации выходного сигнала**: `500`
- **Частота выборки входного сигнала**: `1500`

4. Запустите ВП. Координата пика по оси абсцисс, который вы видите на частотном графике, представляет собой частоту синусоидального сигнала, сгенерированного DAQ устройством.
Напомним, что частота Найквиста (*f*n) равна *f*n = ½ *f*s.
При частоте выборки 1500 Гц частота Найквиста равна 750 Гц. Это означает, что такой

частоты выборки достаточно для измерения синусоидального сигнала с частотой вплоть до 750 Гц. При запуске ВП вы видите пичок на частоте 500 Гц – частоте аналогового сигнала, сгенерированного DAQ устройством.

5. Остановите ВП. Нажмите кнопку **Zoom** на временном графике и увеличьте изображение вдоль оси x.



Данные выглядят как треугольный сигнал. Поскольку частота выборки в три раза превышает частоту аналогового сигнала, теорема Найквиста выполняется, однако такой частоты недостаточно для захвата формы сигнала. Обратите внимание, что на графике данных в частотной области (frequency-domain data) частота сигнала отображается правильно.

6. Запустите ВП. Увеличьте **Частоту выборки входного сигнала** до `5000` Гц. Сигнал на графике данных во временной области (time domain) имеет гладкую синусоидальную форму. Увеличение частоты выборки десятикратно по сравнению с частотой принимаемого сигнала приводит к более точному представлению формы этого сигнала. Как правило, производите выборки в 5 – 10 раз чаще максимальной частотной компоненты измеряемого сигнала.

7. Установите ручку **Частоты выборки входного сигнала** в положение `1000` Гц. Теперь вы производите выборку на частоте 2*f*n. При этом сигнал во временной области выглядит как треугольный. То есть, вы точно воспроизводите частоту входного сигнала, но не его форму. Если вы увеличите значение **Частоты выборки входного сигнала** чуть больше 1000 Гц, медленно поворачивая ручку управления, то на графике частотной области вы увидите частоту принимаемого сигнала. Это значит, что вы должны оцифровывать с частотой больше 2*f*n для точного представления принимаемого сигнала в частотной области.

8. Уменьшите значение **Частоты выборки входного сигнала** до `750` Гц. *fn* будет равна 375 Гц, что меньше частоты принимаемого сигнала. Хотя осциллограмма на графике данных во временной области выглядит как синусоида, на сигнал повлияло наложение спектров, о чем свидетельствует неправильная частота, отображаемая на графике частотной области. Ложная частота, которую вы видите, определяется следующей формулой:

Ложная частота = | (ближайшая частота, равная целому × частота выборки, – частота сигнала) |

Следовательно, | 750 – 500 | = 250 Гц, то есть то, что видите на графике частотной области.

График частотной области отображает неправильную частоту, поскольку из-за наложения спектров она была перенесена в область 0 – 375 Гц. А именно, 500 Гц сигнал в цифровой форме из-за наложения спектров имеет частоту 250 Гц.

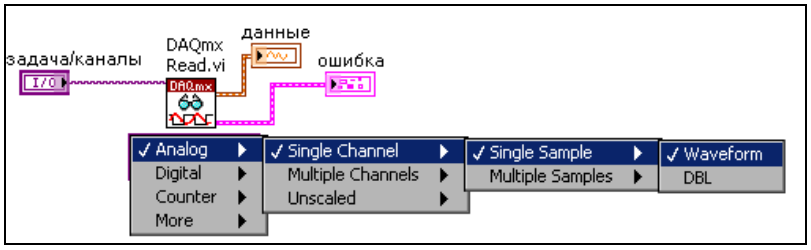
9. Закройте ВП. Не сохраняйте никаких изменений.

Подсказка. При выборе частоты дискретизации для получения временной информации о сигнале, такой как его форма, вы должны производить выборку с частотой, по крайней мере, в пять раз большей максимальной частотной компоненты сигнала. Если же вам достаточно только частотной информации о сигнале, то частота выборки должна превышать максимальную частотную компоненту сигнала не меньше, чем в два раза, в соответствии с теоремой Найквиста.

Конец упражнения 4-1

C. Использование ВП DAQmx Read

ВП DAQmx Read (DAQmx Чтение), расположенный в палитре **DAQmx - Data Acquisition**, считывает выборки из заданной задачи или канала. Входные терминалы этого полиморфного ВП позволяют задать формат возвращаемых выборок, считывание одной или нескольких выборок, и считывание из одного или нескольких каналов. Используйте выпадающее меню для конфигурации состояния этого ВП, как показано на рисунке ниже.

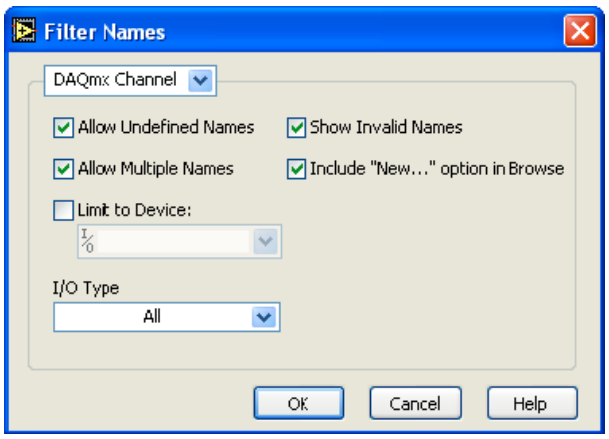


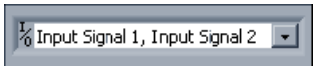
В первом меню вы можете выбрать следующие типы ввода:

- Аналоговый (Analog)
- Цифровой (Digital)
- Ввод сигналов счётчика (Counter)
- Дополнительный (необработанные данные) (More (Raw Data))

Второе меню имеет следующие опции: один канал для чтения (single channel), несколько каналов для чтения (multiple channels) и считывание данных непосредственно с устройства без предварительного масштабирования (unscaled). В третьем меню выбирается режим сбора данных: одноточечный (single sample) или многоточечного (multiple samples). При выборе одноточечного сбора данных используйте четвертое меню для задания формата возвращаемых данных: осциллограмма (waveform) или число с плавающей запятой удвоенной точности (DBL). При выборе многоточечного сбора данных используйте это меню для возврата данных в виде осциллограммы или массива числовых значений с плавающей запятой удвоенной точности.

При адресации аналогового ввода или вывода, возможно, вам понадобится обращаться одновременно к нескольким каналам. Если эти каналы имеют одинаковые типы тактирования и триггеров, объедините их в задачу. В противном случае используйте инструмент фильтрации имени (I/O Name Filtering) в контекстном меню элемента управления/константы имени NI-DAQmx задачи или канала и выберите опцию **Allow Multiple Names** (**Разрешить несколько имен**). Разделяйте имена каналов запятыми. Вы не сможете обращаться к нескольким задачам одновременно.





Тип данных осциллограмма

Тип данных осциллограмма – кластер, состоящий из следующих элементов:

- **Y** – Одномерный массив числовых данных, которыми могут быть единственная точка или несколько, в зависимости от операции сбора данных. Элементы массива имеют представление чисел с плавающей запятой удвоенной точности (DBL).

- **t_0** – Скалярное значение, представляющее время получения первой точки массива Y в соответствии с системными часами. Этот элемент называю также начальным временем или отметкой времени (timestamp).

- **t** – Скалярное значение, представляющее временной интервал между точками данных массива Y.

- **Attributes (Атрибуты)** – Строка, позволяющая добавлять к осциллограмме дополнительную информацию, такую как номер устройства или канала.

Тип данных осциллограммы имеет много преимуществ перед обычным массивом масштабированных данных.

- **Наличие t_0** – Когда этого типа данных не существовало, вы не могли определить время получения данных. Теперь же тип данных осциллограмма автоматически возвращает реальное время в виде элемента t_0.

- **Более легкое отображение на графике** – Тип данных осциллограмма упрощает построение данных на графике. Предыдущие версии LabVIEW требовали объединения значения начальной точки (x_0) и интервала между точками (x) с данными (массив Y). Тип данных осциллограмма содержит все эти элементы, так что все, что вам остается сделать – это присоединить тип данных осциллограмма к графику осциллограмм.

- **Более легкое построение нескольких графиков** – Тип данных осциллограмма упрощает построение нескольких графиков. Предыдущие версии LabVIEW требовали объединения x_0, x и массива Y для каждого из графиков, затем построения из этих кластеров массива для отображения нескольких графиков. Используя тип данных осциллограмма, вы просто присоединяете 1D массив осциллограмм к графическому

индикатору для построения на нем нескольких графиков. Если вы собираете данные из нескольких каналов при помощи ВП аналогового ввода, то последний возвращает 1D массив, который вы можете подсоединить непосредственно к графическому индикатору.

Упражнение 4-2. ВП Вольтметр

Задача: получить аналоговый сигнал, используя устройство сбора данных.

Выполните следующие шаги для создания ВП, измеряющего напряжение, которое возвращает датчик температуры на испытательной коробке. Датчик температуры возвращает напряжение, пропорциональное температуре, и соединен с нулевым каналом устройства сбора данных.

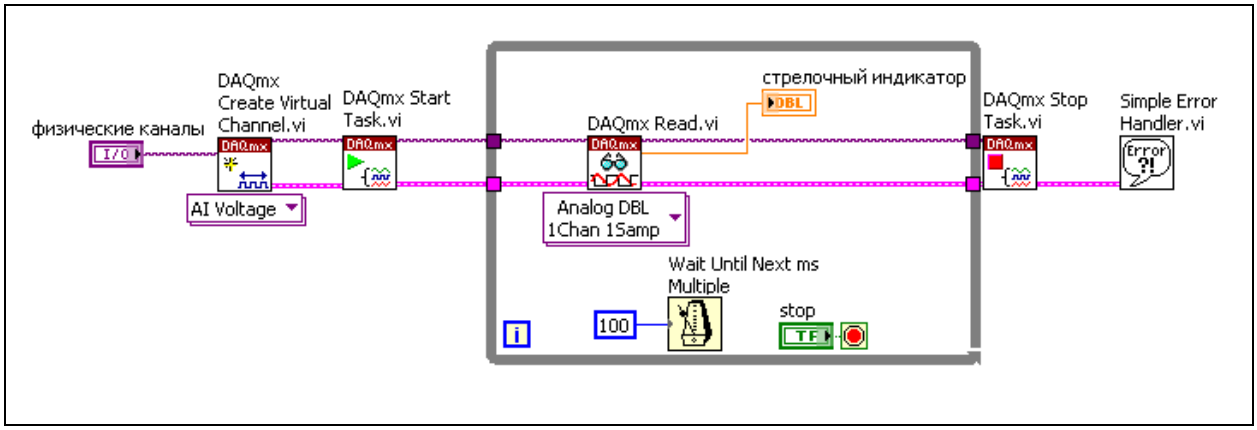
Лицевая панель

1. Откройте новый ВП и постройте следующую лицевую панель.

Настройте шкалу стрелочного индикатора для отображения диапазона `0.0 – 0.4`. Дважды щелкните на отметке `10.0` и напечатайте `0.4`. Возможно, вам придется увеличить индикатор для более подробного отображения шкалы.

Блок-диаграмма

2. Создайте следующую блок-диаграмму.



a. Поместите ВП DAQmx Create Virtual Channel, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП создает виртуальный канал такого типа, который вы зададите в выпадающем меню конфигуратора входов этого ВП. Выберите тип **AI Voltage** из этого выпадающего меню.

b. Поместите ВП DAQmx Start Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП запускает измерительную задачу.

c. Поместите цикл по условию (While Loop), расположенный в палитре **Functions»All Functions»Structures**, на блок-диаграмму. Этот цикл повторяет поддиаграмму, расположенную внутри него, до тех пор, пока терминал условия выхода из цикла не получит определенное булевское значение.

d. Поместите ВП DAQmx Read, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП совершает операцию чтения, заданную вами в меню конфигуратора. Выберите следующие опции настройки ввода: **Analog»Single Channel»Single Sample»DBL**. При такой настройке прибор возвращает одну выборку данных в виде числа удвоенной точности с плавающей запятой из одного канала аналогового ввода.

e. Поместите функцию Wait Until Next ms Multiple (Задержка до следующего кратного интервала, мс), расположенную в палитре **Functions»All Functions»Time & Dialog**, на блок-диаграмму. Эта функция заставляет выполняться цикл каждые 100 мс.

f. Поместите ВП DAQmx Stop Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП останавливает выполнение измерительной задачи.

g. Поместите простейший обработчик ошибок – ВП Simple Error Handler, расположенный в палитре **Functions»All Functions»Time & Dialog**, на блок-диаграмму. В случае возникновения ошибки этот ВП вызовет диалоговое окно с информацией об этой ошибке и месте ее возникновения.

3. Сохраните ВП с именем `Voltmeter.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

4. Перейдите на лицевую панель и установите для физического канала значение `Dev X/ai0`, где `X` – это номер вашего DAQ устройства в MAX.

5. Запустите ВП. Индикатор покажет значение напряжения на выходе датчика температуры. Дотроньтесь пальцем до датчика и посмотрите, как возрастает напряжение.

6. Остановите ВП.

7. Поместите ВП **DAQmx Global Channel**, расположенный в палитре **Controls»All Controls»I/O»DAQmx Name Controls**, на лицевой панели.

8. Переключитесь на блок-диаграмму, удалите ВП DAQmx Create Virtual Channel и элемент управления **физические каналы**.

9. Присоедините терминал элемента управления **DAQmx Global Channel** к вводу **task/channels in** виртуального прибора DAQmx Start Task.

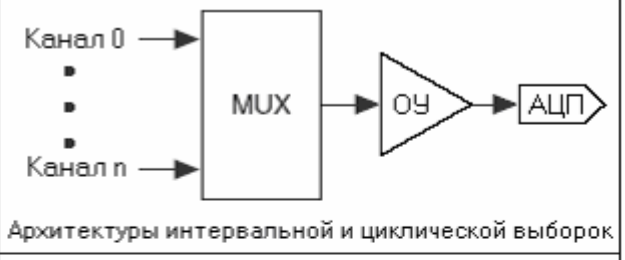
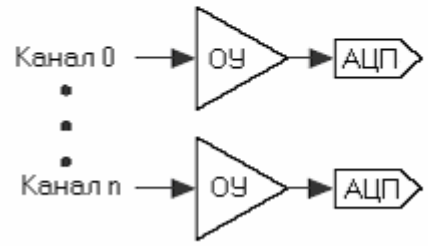
10. Возвратитесь на лицевую панель и выберите канал `Temperature Sensor`. Запустите ВП. Теперь на индикаторе отобразится температура. Значения температуры в 100 раз больше величин напряжения, поскольку NI-DAQmx канал использует созданный масштаб, где напряжение умножается на 100. Измените шкалу индикатора, чтобы увидеть правильные значения температуры.

11. Сохраните и закройте ВП.

Конец упражнения 4-2.

D. Архитектуры устройств сбора данных

Число и расположение компонентов используемого устройства сбора данных зависят от его типа. Архитектура устройства влияет на способ дискретизации сигнала. DAQ-устройства аналогового ввода компании National Instruments могут иметь одну из двух наиболее распространенных архитектур. Они показаны в следующей таблице.

Один усилитель и один АЦП для всех каналов • Эффективность с точки зрения цены • Используется в большинстве устройств E- и M-серий	 Архитектуры интервальной и циклической выборок
По одному усилителю и АЦП для КАЖДОГО из каналов • Более дорогостоящая • Применяется в семействе PCI-611*X*	 Архитектура одновременной выборки

Архитектуры интервальной и циклической выборки состоят из одного мультиплексора (коммутатора), инструментального усилителя и АЦП. В такой схеме все входные каналы должны совместно использовать один АЦП. Использование только одного АЦП делает подобную архитектуру эффективной с точки зрения цены, поэтому она применяется в устройствах E- и M-серии. Архитектура одновременной выборки состоит из инструментального усилителя и АЦП для каждого из каналов. Эта архитектура применяется в семействе устройств PCI-611*X*. Хотя эта архитектура более дорогостоящая по сравнению с использующей один АЦП на все каналы, она позволяет производить одновременные выборки из разных каналов.

Терминология, применяемая при дискретизации сигналов

Выборок на канал в секунду – Число выборок, получаемых за одну секунду из одного канала.

Тактовый генератор выборки (Sample Clock) – Последовательность импульсов, используемых для запуска сбора данных. Каждый раз, когда тактовый генератор выборки (ТГВ) выдает импульс, принимается одна выборка из одного канала.

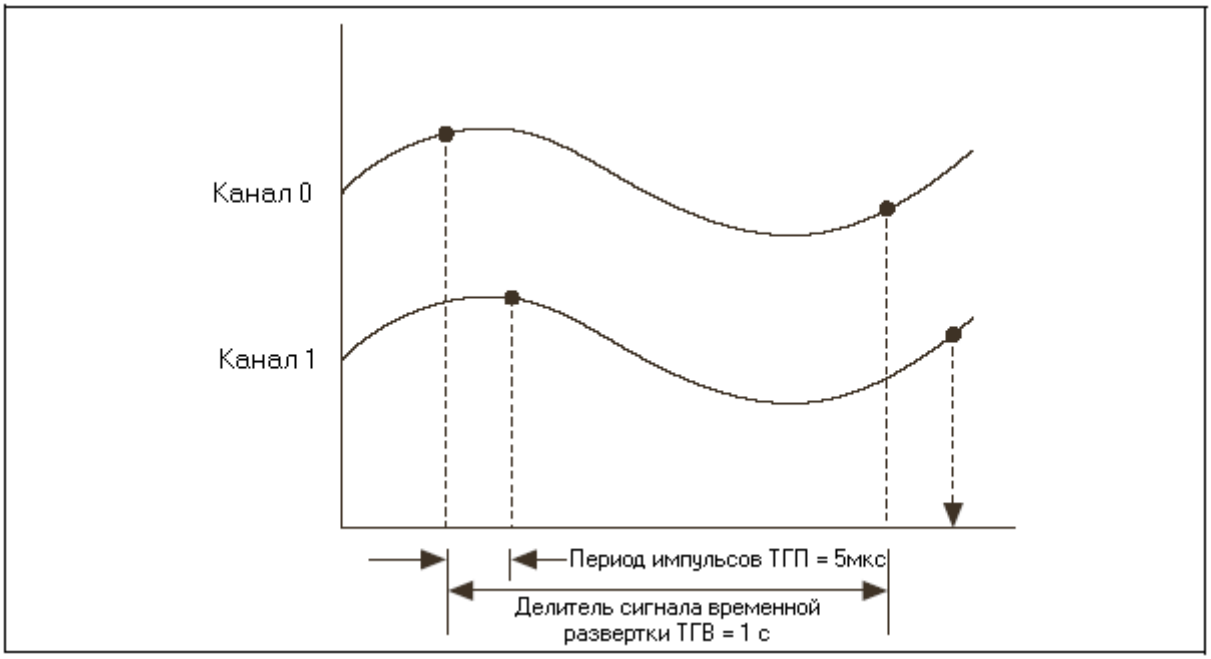
Тактовый генератор преобразователя аналогового ввода (**AI Convert Clock)** (ТГП) – Последовательность импульсов, используемых для запуска АЦП.

Длительность выборки (**Sample Duration)** – Время, которое занимает получение одного набора выборок из каналов. Используйте следующую формулу для вычисления длительности выборки:

Длительность выборки = (# каналов – 1) × период импульсов ТГП

Интервальная выборка

При оцифровке сигнала вы можете использовать различные способы дискретизации: интервальный, циклический и одновременный. Следующая иллюстрация показывает пример интервальной выборки.



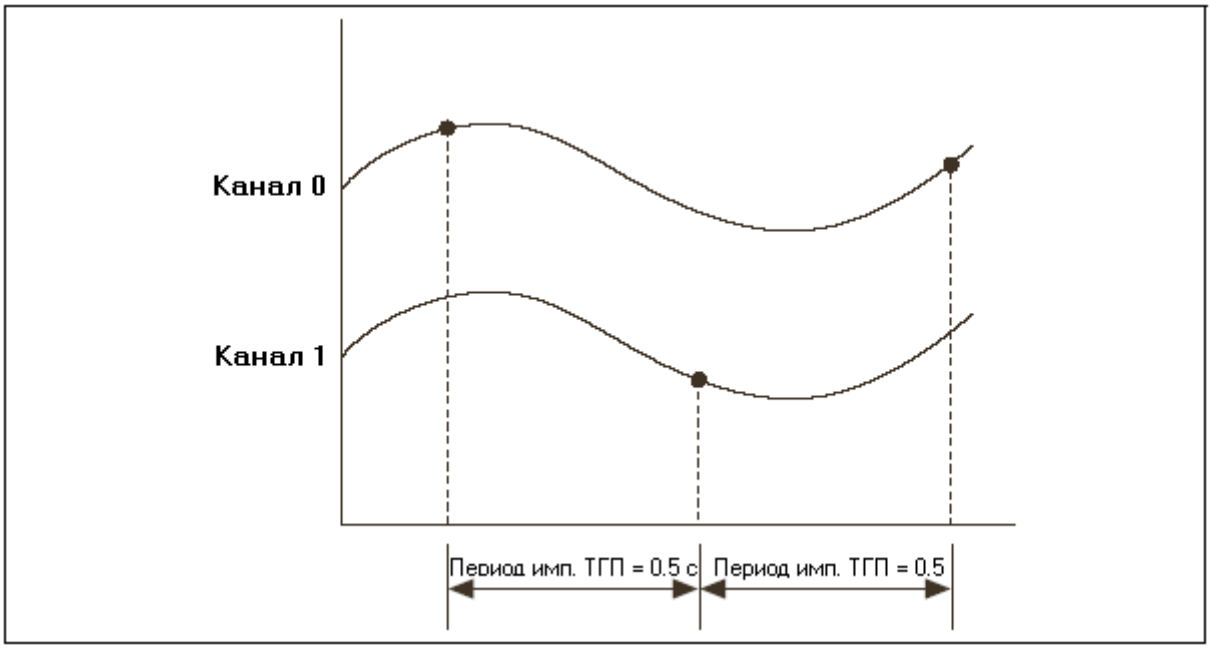
В наиболее распространенном методе интервальной выборки (interval sampling) все каналы устройства использует один АЦП. Эту архитектуру можно найти в большинстве устройств E- и M-серий. При этом для управления мультиплексором (multiplexer – MUX) используются тактовые генераторы выборки и преобразователя аналогового ввода. Для того чтобы понять, каким образом взаимодействуют эти генераторы, рассмотрим пример получения данных из двух каналов. Когда генератор выборки дает сигнал о начале сбора данных, мультиплексор подключает первый канал к АЦП, и однократно срабатывает тактовый генератор преобразователя. Как только ТГП посылает импульс, АЦП получает одну точку данных из первого канала. Перед тем как ТГП снова пошлет импульс, мультиплексор подключит второй канал к АЦП. Как только это произойдет, со следующим импульсом ТГП АЦП возьмет одну точку данных уже из второго канала. По завершении времени (длительности) выборки, ТГВ снова генерирует импульс, и цикл повторяется. ТГВ задает частоту, с которой устройство производит выборку данных из всех каналов. А тактовый генератор преобразователя фактически управляет получением выборок. Поскольку при интервальной выборке используются ТГВ и ТГП, устройство может производить выборку из каналов за короткий промежуток времени.

На предыдущем рисунке устройство производит выборку из каждого канала каждую секунду, а задержка между выборками из разных каналов равна всего лишь 5 мкс (это определяется периодом тактового генератора преобразователя аналогового ввода). Таким образом, вы можете достигнуть почти одновременной выборки из каналов, имея только один АЦП, что выгодно с точки зрения стоимости DAQ-устройства.

Циклическая выборка

При циклической выборке (round-robin sampling) также используется один АЦП

для всех каналов. Различие между данным методом и интервальной выборкой состоит в том, что при циклической выборке не используется генератор развертки (scan clock) – традиционное название ТГВ. Тактовый генератор каналов (channel clock) запускает развертку и определяет время между выборками. Следующий рисунок иллюстрирует пример циклической выборки.

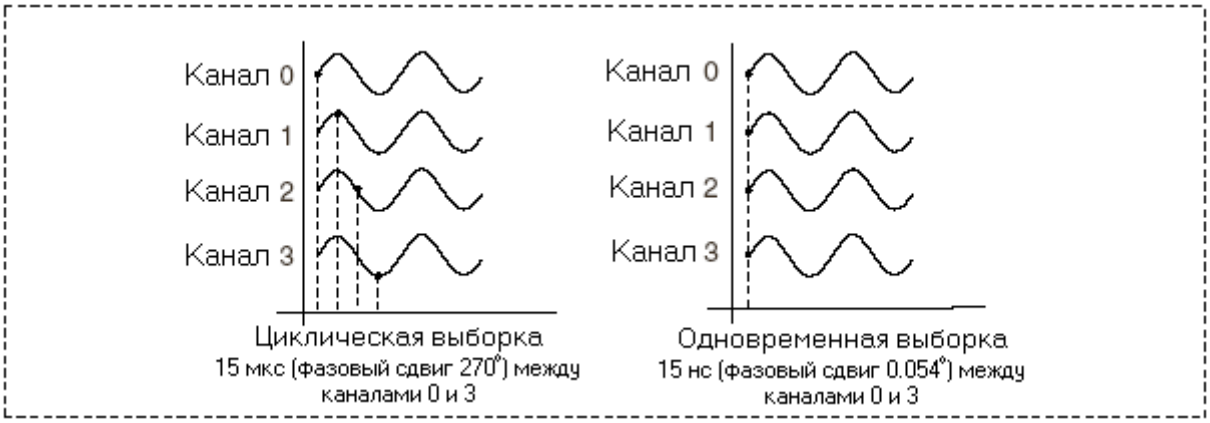


В примере с интервальной выборкой устройство запускало оцифровку каждого канала с интервалом в секунду. Каналов сбора данных было два. В данном примере, показанном на предыдущем рисунке, условия те же. Однако здесь только один генератор, так что точки данных должны быть распределены равномерно. Единственный способ распределить данные равномерно с частотой одна выборка в секунду на один канал и две выборки на два канала в секунду, – это использовать ТГП с частотой две выборки в секунду. Различие между данным примером и интервальной выборкой в том, что длительность выборки теперь равна 0.5 секунды вместо 5 мкс.

При использовании интервальной выборки точки данных из различных каналов принимаются в близкие моменты времени. При использовании циклической оцифровки выборки разделены б**о**льшим промежутком времени. Хотя циклическая выборка проще, так как использует всего лишь один генератор, ее можно использовать, только если временные отношения между сигналами не играют большой роли. Такую архитектуру оцифровки данных можно найти в устаревших устройствах.

Одновременная выборка

Если временные соотношения между сигналами играют важную роль, можно использовать интервальную выборку, но в ряде случаев интервальная развертка не может с достаточной точностью обеспечить временных соотношений между сигналами. В этом случае необходимо использовать одновременную выборку, как показано на следующем рисунке.



При одновременной выборке (simultaneous sampling) используется по одному АЦП для каждого из каналов, так что вы можете оцифровывать сигналы во всех каналах одновременно. Хотя это требует более дорогостоящей архитектуры, чем при интервальной выборке, зато исключается запаздывание между каналами, обусловленное совместным использованием АЦП всеми каналами. Поскольку при такой дискретизации выборки из каналов происходят одновременно, для задания частоты выборки достаточно только ТГВ.

Сравним все три типа дискретизации, определяя фазовый сдвиг, возникающий при оцифровке четырех 50 кГц сигналов с частотой 200 кГц. При циклической дискретизации все выборки должны быть равномерно распределены во времени, что является причиной 15 мкс задержки между временем выборки в канале 0 и временем выборки в канале 3. Это соответствует фазовому сдвигу 270 градусов. При интервальной дискретизации будем считать, что межканальная задержка составляет 5 мкс. Снова получаем 15 мкс задержку между нулевым и третьим каналами. При одновременной дискретизации задержка между крайними каналами составит три наносекунды, что приведет к фазовому сдвигу 0.054 градуса. Таким образом, одновременная выборка имеет громадное преимущество, сохраняя временные соотношения между сигналами, хотя и достигается это более высокой стоимостью. Одновременную выборку могут осуществлять устройства серии PCI/PXI-611*X* (S-серия).

Упражнение 4-3. Сравнение интервальной и циклической выборок.

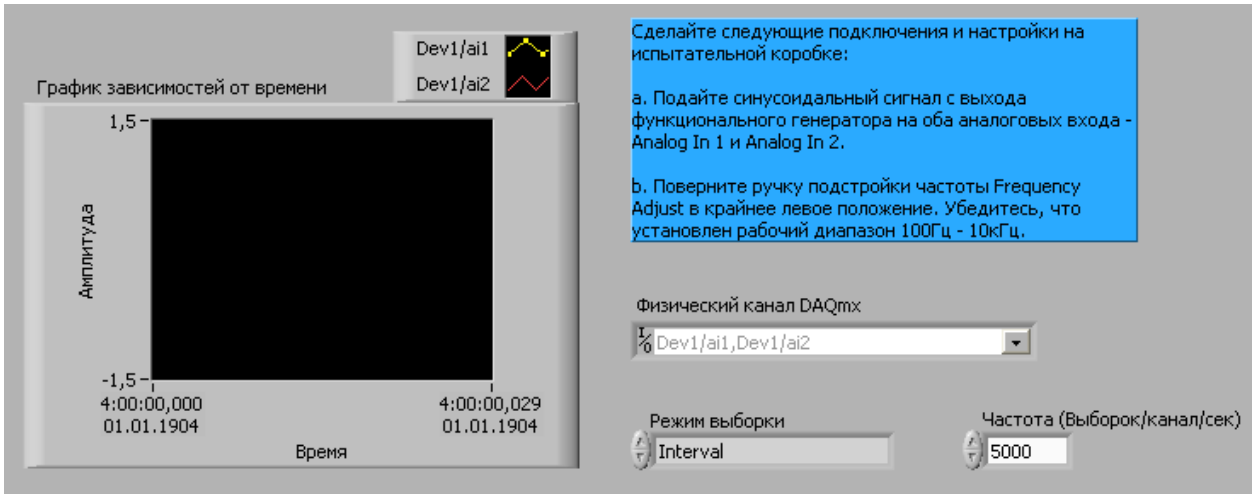
Задача: Наблюдать различия между циклической и интервальной выборками.

1. Сделайте следующие подключения и настройки на испытательной коробке:

   a. Подайте синусоидальный сигнал с функционального генератора на аналоговые вводы 1 и 2 испытательной коробки.

   b. Поверните в крайнее левой положение ручку подстройки частоты Frequency Adjust. Убедитесь, что переключатель частотного диапазона Frequency Range находится в положении `100 Hz – 10 kГц`.

2. Откройте ВП Interval vs. Round-Robin Sampling Example, расположенный в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`. Его лицевая панель показана на следующей иллюстрации.



Этот ВП получает осциллограммы из двух каналов аналогового ввода и отображает их на графике.

3. Введите следующие значения для элементов управления:

- **Физический канал DAQmx**: `Dev X/ai1, Dev X/ai2`, где `X` – это номер вашего DAQ устройства в MAX.
- **Частота выборки**: `5000`
- **Режим выборки**: Round-Robin

4. Запустите ВП. Обратите внимание, что осциллограммы сдвинуты относительно друг друга, хотя в обоих каналах оцифровывается один и тот же сигнал. Вспомните две особенности циклической выборки:

- Сигналы в нескольких каналах не могут быть оцифрованы одновременно. Мультиплексор по очереди подключает каналы аналогового ввода к АЦП. Поскольку подключением мультиплексора управляет тактовый генератор каналов, возникает фазовое смещение между выборками двух соседних каналов. Таким образом, циклическая дискретизация подходит для тех приложений, где временные

соотношения между каналами не играют важной роли.

- Максимальная частота дискретизации в одном канале обратно пропорциональна числу оцифровываемых каналов. Например, DAQ устройство, производящее дискретизацию 10 каналов с частотой 700 кГц, производит выборку из каждого канала с эффективной частотой только 70 кГц.

5. Измените значение элемента управления **Режим выборки** на **Interval Sampling** и снова запустите ВП. Обратите внимание, что сигналы наложились друг на друга, как при одновременной дискретизации двух каналов. Циклическая выборка использует только генератор каналов, отвечающий за частоту выборки и межканальную задержку. При циклической дискретизации ТГВ отвечает только за частоту выборки из канала. Другой генератор – ТГП – управляет временем задержки. Использование двух генераторов позволяет установить частоту ТГП максимально большой, что создает эффект одновременной выборки.

6. Закройте ВП. Не сохраняйте никаких изменений.

Конец упражнения 4-3

E. Многоточечный (буферизированный) аналоговый ввод

Для того чтобы получить несколько точек данных за раз, выберите настройку конфигуратора входов ВП DAQmx Read, отвечающую за считывание нескольких выборок (Multiple Samples). Для создания ВП для буферизированного аналогового ввода с аппаратным тактированием используйте ВП DAQmx Read совместно с виртуальными приборами DAQmx Timing, DAQmx Start Task и DAQmx Stop Task.

- **Сбор данных с аппаратным тактированием (Hardware-Timed)** – Сигналы, сгенерированные аппаратно, такие как импульсы тактового генератора выборки или преобразователя, управляют скоростью сбора данных. Подобные тактовые генераторы гораздо более быстры, чем созданные программно с использованием циклов. Поэтому вы можете оцифровывать сигнал в большем диапазоне частот без опасения, что возникнет эффект наложения спектров. Кроме этого, аппаратные тактовые генераторы более точны, чем программные циклы. На последние могут оказывать влияние различные действия с компьютером, такие как открытие другой программы, в то время как тактовый генератор не подвержен подобного рода воздействиям.

- **Буферизированный сбор данных** – Получение нескольких точек данных за один вызов устройства. Перед считыванием в LabVIEW, выборки передаются из устройства в промежуточный буфер в памяти.

ВП DAQmx Timing

ВП DAQmx Timing (ВП DAQmx Тактирование) настраивает частоту выборки, число выборок для сбора или генерации и создает буфер в случае необходимости. Конфигуратор этого полиморфного ВП задает тип тактирования, используемого в задаче. Существуют следующие типы тактирования: Sample Clock (Тактовые импульсы выборки), Handshaking (Квитирование), Implicit (Неявное) и Use Waveform (Использовать осциллограмму).

Для ввода аналогового сигнала, выберите опцию Sample Clock в выпадающем меню этого ВП. При такой настройке конфигуратора ВП содержит следующие параметры:

- **sample mode (режим выборки)** – Определяет, будет ли задача выполняться непрерывно или в течение ограниченного промежутка времени.

- **samples per channel (количество выборок на канал)** – Задает количество выборок для сбора или генерации, если вход **sample mode** имеет значение **Finite Samples (Ограниченное кол-во выборок)**. Эта величина определяет размер промежуточного буфера памяти, который хранит данные во время их передачи из DAQ устройства в LabVIEW.

- **rate (частота)** – Задает частоту выборки в единицах количества выборок на канал в секунду. Если вы используете внешний источник тактовых импульсов выборки, установите значение этого входа в максимальное ожидаемое значение внешнего генератора.

- **source (источник)** – Задает терминал источника тактовых импульсов выборки. Оставьте этот ввод неподключенным для использования стандартного генератора,

встроенного в DAQ устройство.

- **active edge (активный фронт)** – Определяет, какой фронт тактового импульса использовать для получения или генерации выборок. Можно выбрать нарастающий (rising) или спадающий (falling) фронты импульсов ТГВ.

- **task/channels in (входная задача/каналы)** – Задает имя задачи или список виртуальных каналов, в которых будет проводиться сбор данных. При использовании списка каналов NI-DAQmx автоматически создает задачу.

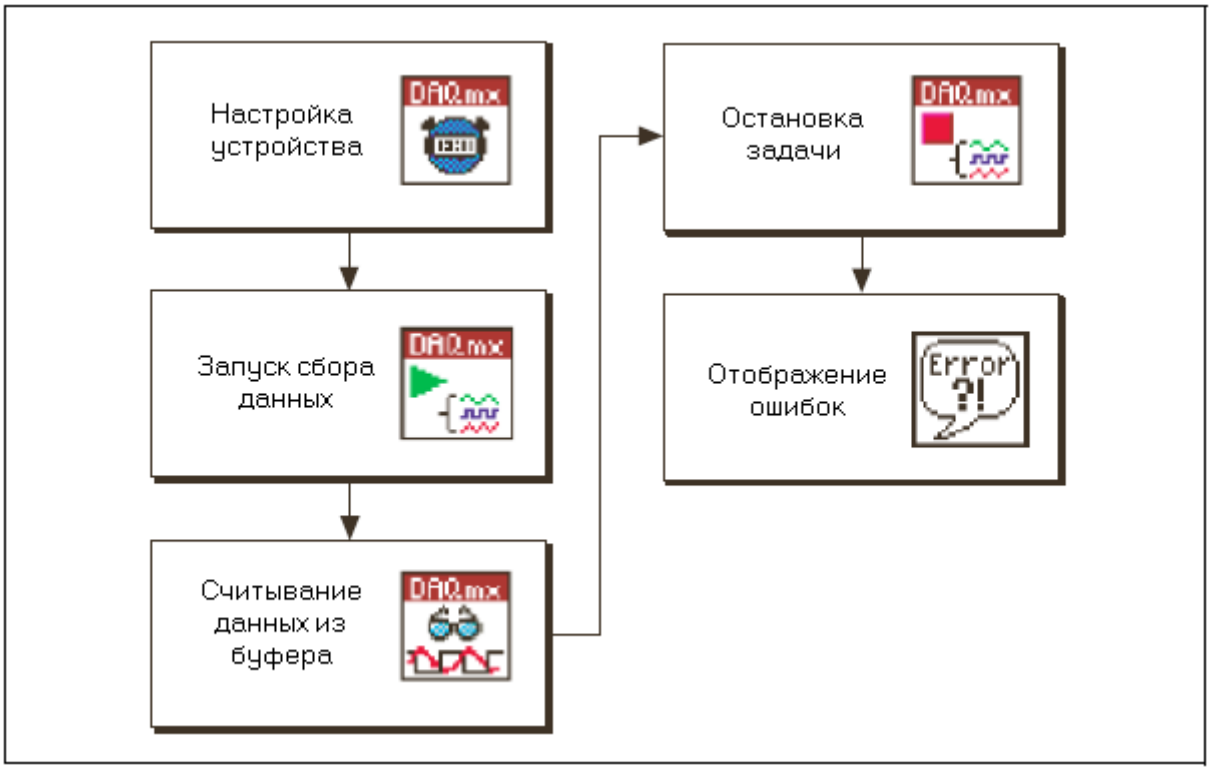
Опция Handshaking (Квитирование) конфигуратора ВП DAQmx Timing определяет число выборок дискретного сигнала для сбора или генерации с использованием подтверждения установления связи (квитирования) между DAQ устройством и периферийным устройством. За большей информацией о данной настройке конфигуратора ВП DAQmx Timing обращайтесь к восьмому занятию, *Цифровой ввод/вывод*.

При выборе неявного (Implicit) типа тактирования можно задать только число выборок для сбора или генерации без какой-либо информации о временных параметрах. Обычно эта опция используется, когда задача не требует тактирования выборки, например, в случае использования счетчиков для буферизированного измерения частоты/периода или генерации последовательности импульсов.

При выборе опции Use Waveform (Использовать осциллограмму) конфигуратора ВП DAQmx Timing для определения частоты ТГВ используется компонента **dt** осциллограммы, подключенной к входу **waveform**. **dt** – это время между выборками, выраженное в секундах. Если на вход **sample mode** подано значение **Finite Samples**, то NI-DAQmx генерирует столько выборок, сколько их есть в осциллограмме. Этот ВП на самом деле не генерирует ни одной выборки. Для того чтобы сгенерировать сигнал, необходимо соединить этот ВП с ВП DAQmx Write. За большей информацией о данной настройке конфигуратора ВП DAQmx Timing обращайтесь к седьмому занятию, *Аналоговый вывод*.

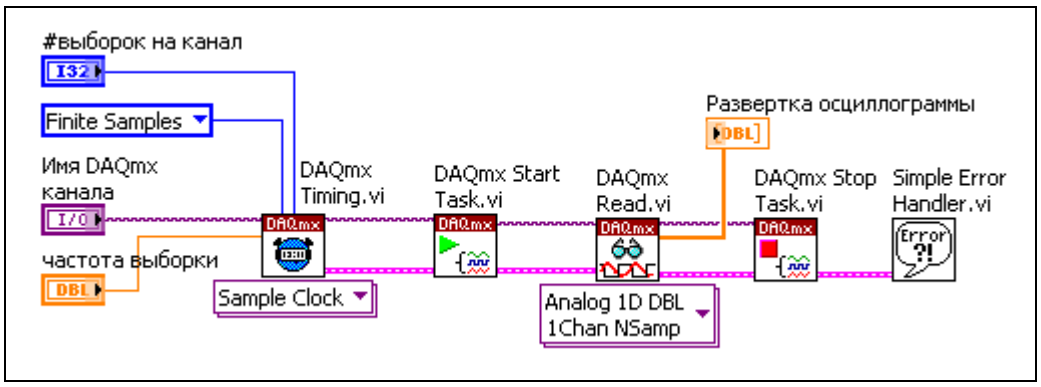
Блок-схема буферизированного сбора данных

На следующей блок-схеме отображены основные моменты буферизированного сбора данных. Он требует задания определенного количества точек для получения с определенной частотой. Для настройки временных параметров и буфера устройства используйте ВП DAQmx Timing. Для запуска сбора данных применяйте ВП DAQmx Start Task. Далее, ВП DAQmx Read ждет, пока все выборки каждого из каналов не будут получены, затем возвращает данные и продвигает задачу дальше. ВП DAQmx Stop Task останавливает задачу и высвобождает ресурсы, выделенные устройству. Обработчик ошибок Error Handler показывает все ошибки, возникшие при выполнении.



Пример буферизированного сбора данных

Следующий пример демонстрирует создание ВП для буферизированного сбора данных. ВП DAQmx Timing задает задачу/канал, тактирование и количество выборок на канал (размер буфера). Затем, ВП DAQmx Start Task запускает сбор данных. После этого программа ждет на этапе ВП DAQmx Read, пока не заполнится весь буфер. Когда это произойдет, ВП DAQmx Read возвращает данные из буфера, ВП DAQmx Stop Task останавливает сбор данных, и ВП Simple Error Handler показывает возникшие ошибки.



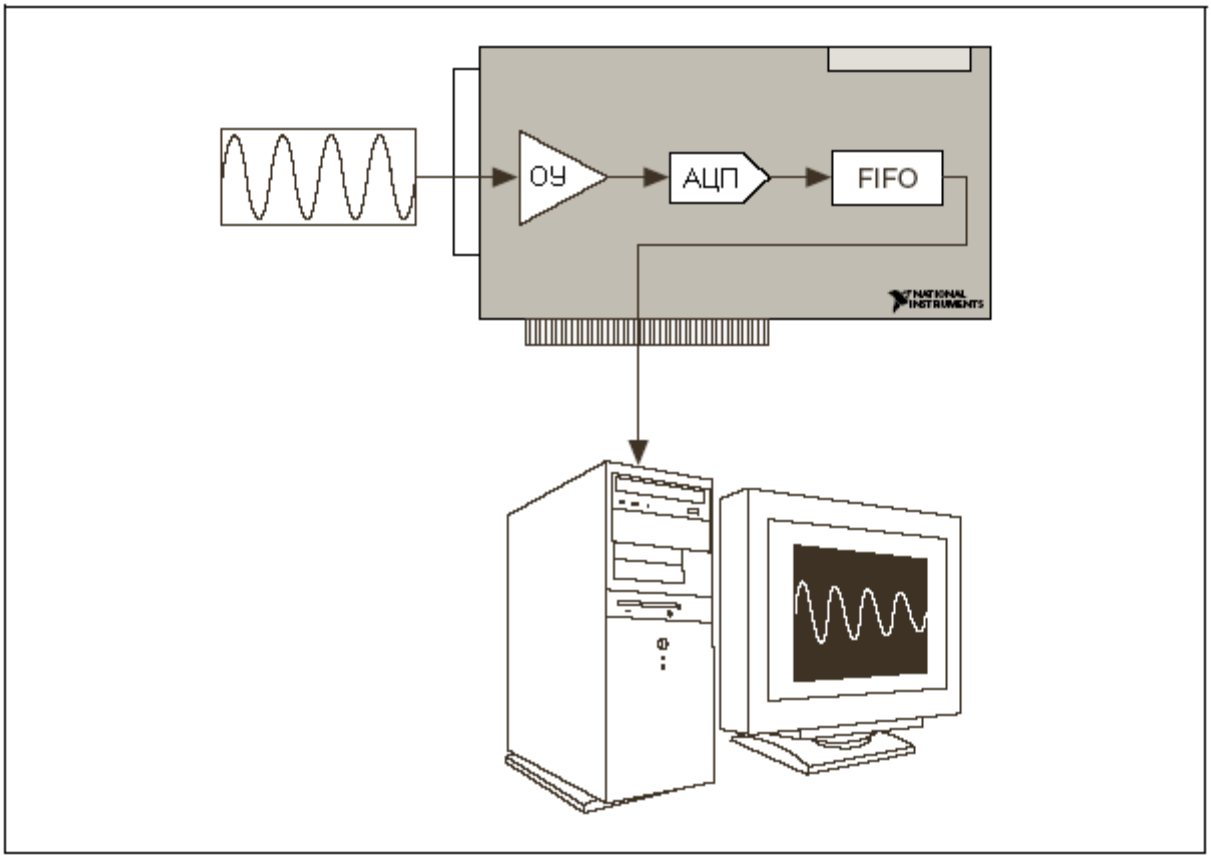
Поскольку ввод числа выборок на канал (**number of samples per channel)** ВП DAQmx Read остался неподключенным, NI-DAQmx автоматически определяет количество выборок для чтения, основываясь на конфигурации ВП DAQmx Timing. NI-DAQmx автоматически определяет это значение и устанавливает ввод **number of samples per channel** в значение –1. ВП DAQmx Read возвращает 2D массив, который можно непосредственно подать на график. В отличие от типа данных «осциллограмма», массив не содержит никакой временной информации.

Всегда соединяйте входные и выходные терминалы кластеров ошибок ВП между собой. Если на вход **error in** какого либо из ВП DAQmx Start Task, DAQmx Read или

DAQmx Stop Task поступит ошибка, то ВП возвратит информацию об ошибке на свой выходной терминал **error out** и не будет продолжать выполняться. Например, предположим, что возникла в ВП DAQmx Start Timing. Этот ВП прекратит выполнение и передаст информацию об ошибке в ВП DAQmx Start Task. Последний выполняться не будет – он просто передаст ошибку в следующий ВП. Таким образом, информация об ошибке проходит через каждый ВП и поступает в Error Handler для отображения.

Что происходит на самом деле?

Чтобы понять, что происходит при буферизированном сборе данных, рассмотрим его на низком уровне, как показано на следующей иллюстрации.



Вы уже знаете, что при получении аналогового сигнала, он проходит через инструментальный усилитель в АЦП. Однако вы можете не знать, что происходит с сигналом дальше. Он поступает в FIFO (от First In First Out – первым поступил – первым выводится) буфер, расположенный в устройстве, который хранит данные до тех пор, пока они не будут переданы из устройства в компьютер. После этого данные поступают из устройства в буфер ПК по каналу прямого доступа к памяти (Direct Memory Access – DMA) или с использованием запроса прерывания (Interrupt Request – IRQ).

Буфер персонального компьютера представляет собой область памяти, в которой хранятся данные после получения их из устройства. Ввод **number of samples per channel** ВП DAQmx Timing (или **buffer size** в ВП DAQmx Configure Input Buffer) задает буфер ПК, который хранит данные, пока ВП DAQmx Read не будет готов считать их. После этого ВП DAQmx Read передает данные в буфер LabVIEW, которые затем могут быть отображены на лицевой панели. Буфер LabVIEW может передать данные на график осциллограмм, в массив или в виде типа данных «осциллограмма» в зависимости от настройки конфигуратора ВП DAQmx Read и способа подключения выходных терминалов ВП

DAQmx Read.

Межбуферная передача данных

Передача данных между буфером ПК и буфером LabVIEW является одной из важнейших операций аналогового ввода. Входной терминал **number of samples per channel** ВП DAQmx Timing назначает буфер ПК. При выполнении буферизированного сбора данных сбор начинается, когда вы вызываете ВП DAQmx Start Task. После начала сбора данных буфер ПК заполняется данными до тех пор, пока не станет полным. Скорость наполнения определяется частотой, которую вы установили в ВП DAQmx Timing. После заполнения буфера ПК ВП DAQmx Read переносит данные из него в буфер LabVIEW. При буферизированном сборе ВП DAQmx Read перемещает все данные за раз.

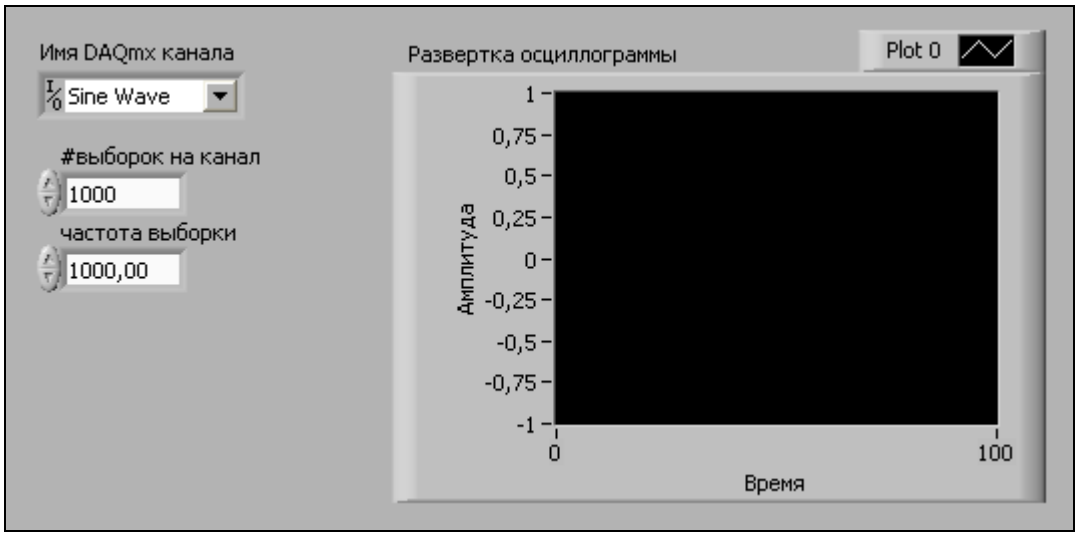
Упражнение 4-4. Буферизированный ввод ограниченного количества данных

Задача: Получить массив данных, используя конфигурацию буферизированного ввода ограниченного количества данных.

При использовании буферизированного ввода ограниченного количества данных LabVIEW задает, сколько точек необходимо получить и с какой частотой. После этого вся забота о тактировании ложится на DAQ устройство. При буферизированном вводе DAQ устройство управляет всеми аспектами сбора данных. В противоположность этому, при сборе данных с программным тактированием за управление сбором отвечает только компьютер, что может быть проблематично, если компьютер вдруг не сможет дать достаточного приоритета процессу сбора данных.

Лицевая панель

1. Откройте новый ВП и постройте следующую лицевую панель.



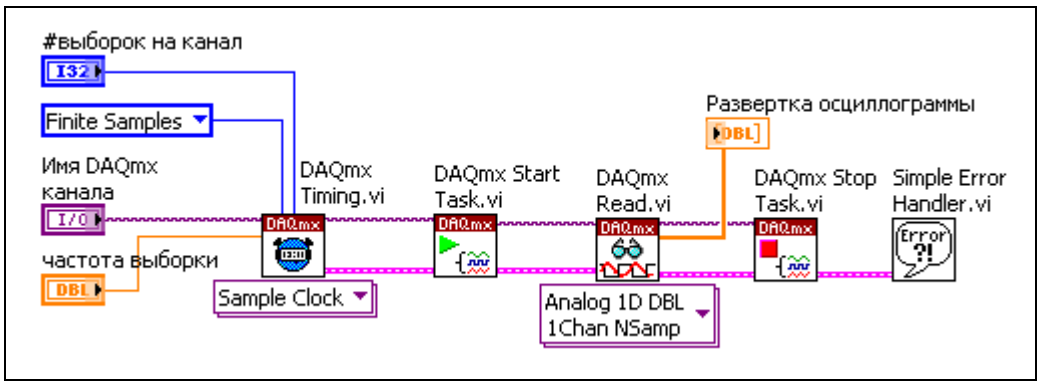
Большинство показанных выше элементов управления вы можете создать с блок-диаграммы, вызывая контекстное меню соответствующих терминалов виртуальных приборов и выбирая в них опцию **Create»Control (Создать»Элемент управления)**.

В данном упражнении вы будете получать данные из одного канала испытательной коробки и отображать их на графике. Установите значение `1000` для элемента управления **#выборок на канал** (размер буфера) и **частоту выборки** – `10000`. Выберите в элементе управления **Имя DAQmx канала** значение `Sine Wave`.

2. Присоедините выход синусоидального сигнала к входу аналогового канала CH1 на испытательной коробке.

Блок-диаграмма

3. Постройте следующую блок-диаграмму.



a. Поместите ВП DAQmx Timing, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition**, на блок-диаграмме. Этот ВП настраивает тактирование и размер буфера (число выборок на канал) для задачи. Для использования внутреннего генератора DAQ устройства выберите опцию **Sample Clock** выпадающего меню конфигуратора.

b. Поместите ВП DAQmx Start Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition**, на блок-диаграмме. Этот ВП запускает измерительную задачу.

c. Поместите ВП DAQmx Read, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition**, на блок-диаграмме. Этот ВП выполняет считывание такого типа, которое вы зададите в выпадающем меню его конфигуратора. Выберите опцию **Analog»Single Channel»Multiple Samples»1D DBL**, чтобы возвратить одномерный массив чисел с плавающей запятой удвоенной точности из одного канала.

d. Поместите ВП DAQmx Stop Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition**, на блок-диаграмме. Этот ВП останавливает измерительную задачу.

4. Сохраните ВП под именем `Buffered Acquisition.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

5. Переключитесь на лицевую панель и запустите ВП. На графике должен отобразиться синусоидальный сигнал.

6. Закройте ВП.

Конец упражнения 4-4.

Упражнение 4-5. Буферизированный сбор данных с исследованием осциллограммы.

Задача: Получить осциллограммы, используя буферизированный сбор данных, и проанализировать эти данные для нахождения максимального и минимального значений.

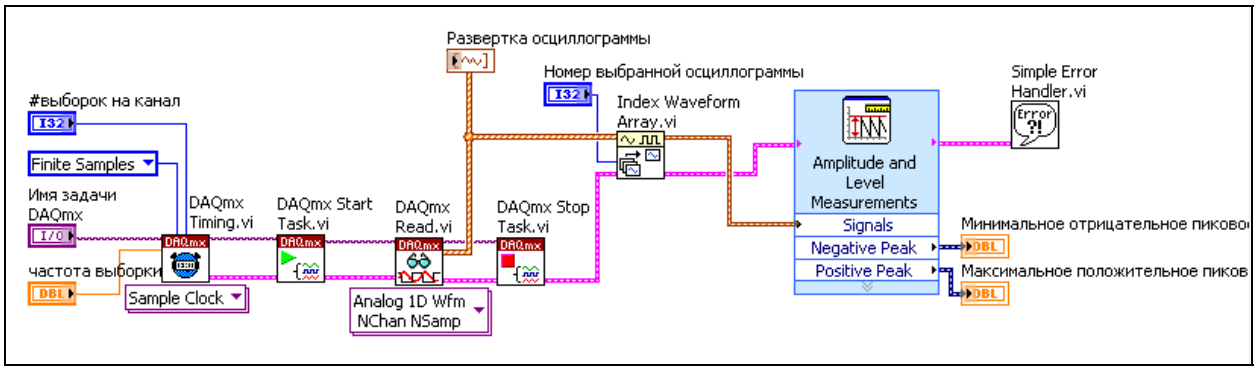
Данный ВП позволит вам найти максимальное и минимальное значения синусоидального сигнала. Эти значения помогут определить, работает ли генератор в пределах заявленных технических характеристик.

1. Откройте созданный вами в упражнении 4-4 ВП Buffered Acquisition, расположенный в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

2. Выберите в меню **File** опцию **Save As** и сохраните ВП под именем `Buffered Acquisition (min max).vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

3. На лицевой панели замените элемент управления **Имя DAQmx канала**, щелкая на нем правой кнопкой мыши и выбирая в контекстном меню опцию **Replace»I/O»DAQmx Name Controls»DAQmx Task Name**.

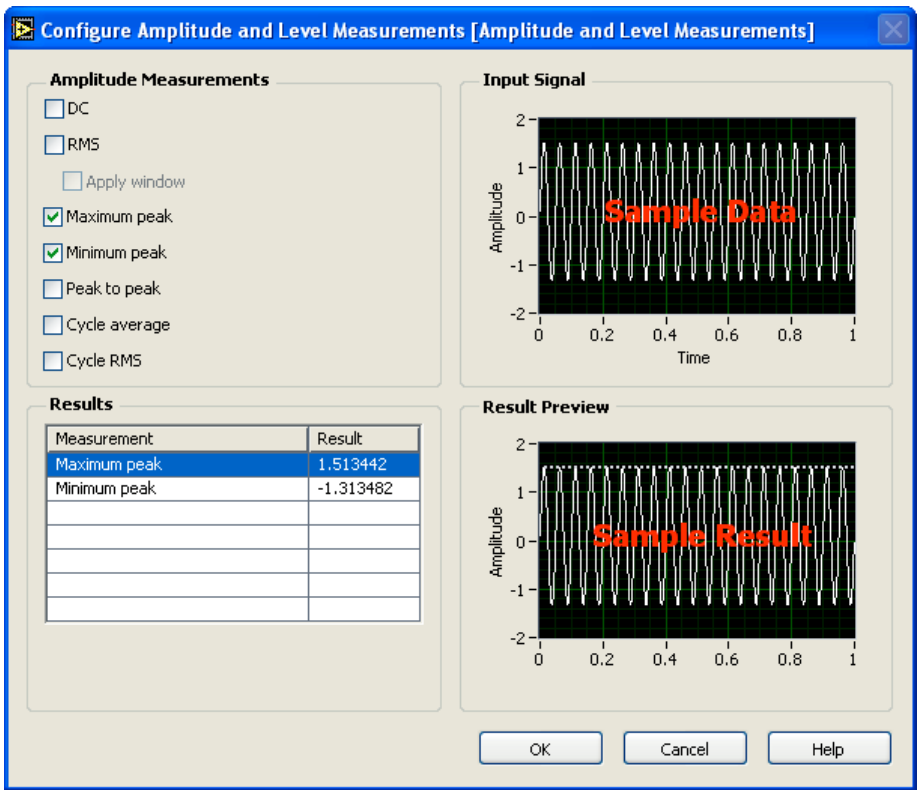
4. Измените блок-диаграмму, как показано на следующей иллюстрации.



a. Поместите функцию Index Waveform Array, расположенную в палитре **Functions»All Functions»Waveform»Waveform Operations**, на блок-диаграмме. Эта функция выбирает осциллограмму из массива осциллограмм.

b. Поместите экспресс-ВП Amplitude and Level Measurements, расположенный в палитре **Functions»Signal Analysis**, на блок-диаграмме. В данном упражнении этот ВП определяет максимальное и минимальное значения сигнала.

- В появившемся диалоговом окне **Configure Amplitude and Level Measurements (Настройка измерений амплитуды и уровня)** поставьте отметки напротив опций **Maximum peak** и **Minimum peak**.
- Нажмите кнопку **OK** для применения изменений и закрытия диалогового окна.



5. Для создания индикаторов **Минимальное отрицательное пиковое значение** и **Максимальное положительное пиковое значение** на лицевой панели вызовите контекстные меню соответствующих выходов экспресс-ВП Amplitude and Level Measurements и выберите опцию **Create»Numeric Indicator (Создать»Числовой индикатор)**.

6. Установите следующие значения для элементов управления на лицевой панели:

- **Имя задачи DAQmx**: `My Voltage Task`
- **#выборок на канал**: `1000`
- **Частота выборки**: `10000`

7. Присоедините выход синусоидального сигнала к аналоговому вводу CH1, а выход меандра к аналоговому вводу CH2 на испытательной коробке.

8. Запустите ВП. Определите максимальное и минимальное значения прямоугольного сигнала, изменив значение элемента управления **Номер выбранной осциллограммы** на 2.

Примечание. Поскольку осциллограммы индексируются, начиная с нуля, номера осциллограмм равны 0, 1 и 2.

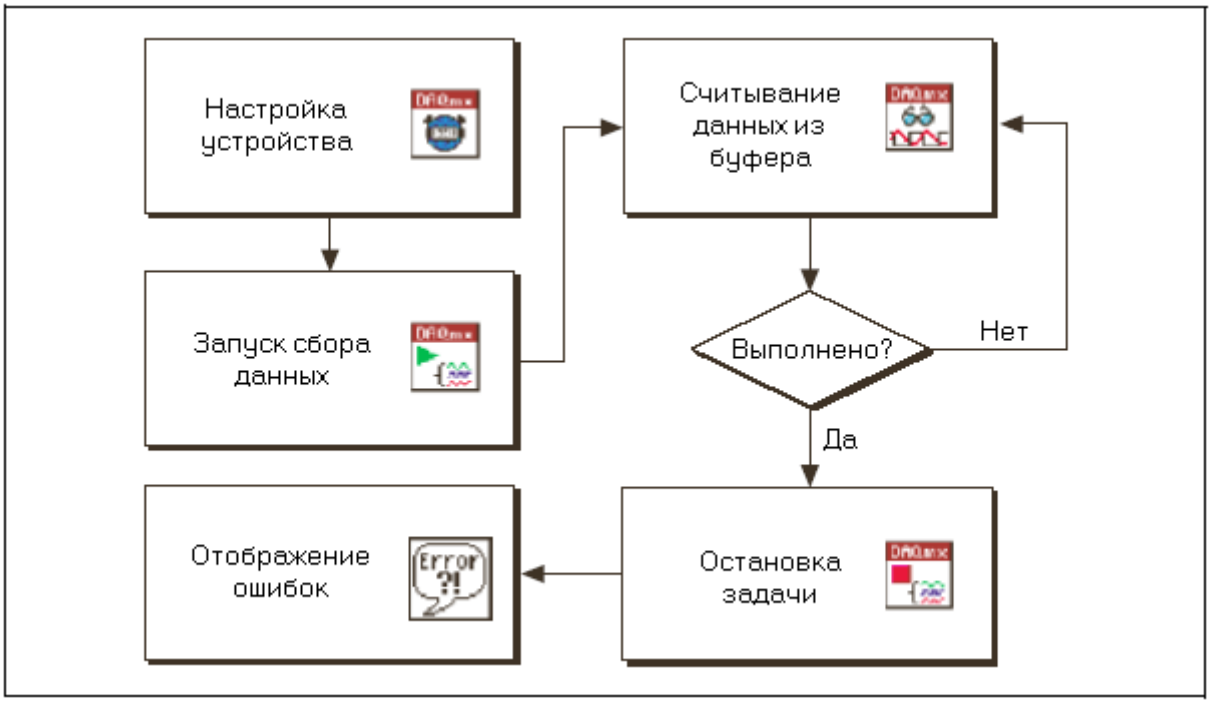
9. Дважды щелкните кнопкой мыши на терминале Экспресс-ВП Amplitude and Level Measurements и выберите опции для определения других характеристик сигнала. Создайте индикаторы для этих значений и запустите ВП.

10. Сохраните и закройте ВП.

Конец упражнения 4-5.

F. Блок-схема непрерывного сбора данных

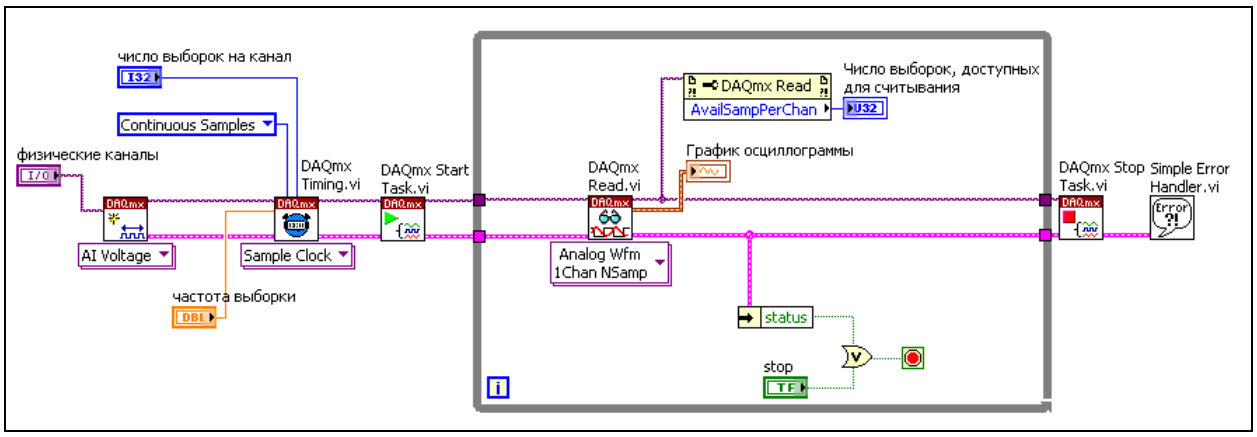
Основное отличие буферизированного сбора ограниченного количества данных от непрерывного буферизированного сбора данных заключается в количестве точек, которое необходимо получить. В первом случае вы получаете некоторое число точек. Во втором – вы можете собрать неограниченное количество данных. Следующая блок-схема демонстрирует непрерывный буферизированный сбор данных.



Первые три этапа на этой блок-схеме совпадают с этапами на блок-схеме буферизированного сбора данных. Они отвечают за настройку DAQ устройства виртуальным прибором DAQmx Timing, за запуск сбора данных ВП DAQmx Start Task и подготовку к считыванию данных ВП DAQmx Read. Поскольку вы собираете данные непрерывно, и считывать данные также необходимо непрерывно. Поэтому поместите ВП DAQmx Read в цикл. Цикл завершит выполняться, если возникнет ошибка, или если вы остановите его с лицевой панели. При каждом выполнении цикла ВП DAQmx Read будет возвращать данные. Когда же выполнение цикла закончится, ВП DAQmx Stop Task остановит задачу и высвободит ресурсы. ВП Simple Error Handler покажет ошибки, возникшие в процессе выполнения.

Непрерывный буферизированный сбор данных

Следующая блок-диаграмма ВП непрерывного буферизированного сбора данных похожа на буферизированный сбор данных со следующими изменениями:



- ВП DAQmx Read находится внутри цикла по условию (While).

- Ввод **число выборок на канал** определяется пользователем. При сборе ограниченного числа данных NI-DAQmx автоматически определяет количество выборок для чтения. Если вы оставите этот ввод неподключенным или выставите значение –1, NI-DAQmx считает полное количество выборок, имеющихся в буфере.

- Отслеживается количество выборок, доступных для считывания (backlog).

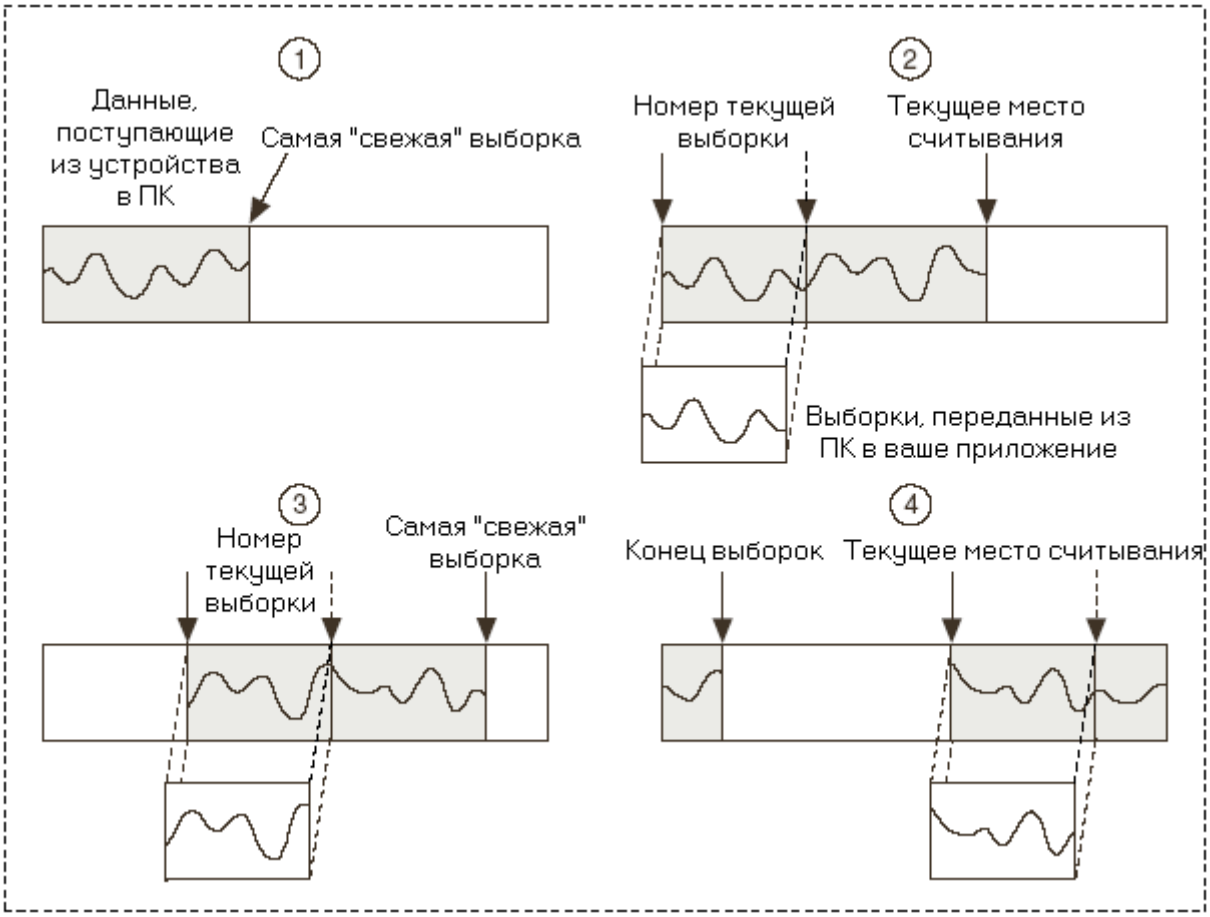
Для применения непрерывного буферизированного сбора данных вначале используйте ВП Timing, настраивающий тактирование, число выборок на канал (буфер) и частоту сбора данных. Далее используйте ВП DAQmx Start для запуска сбора данных. Затем ВП DAQmx Read, помещенный в цикл по условию, будет считывать данные из буфера.

Для предотвращения переполнения буфера число выборок на канал для чтения (**number of samples per channel to read**) не может быть большим или равным размеру буфера. Обычно при непрерывном сборе данных устанавливают значение ввода **number of samples per channel to read** равным четверти либо половине размера буфера. Поскольку LabVIEW непрерывно отправляет данные в буфер, важно постоянно следить за числом доступных выборок в буфере, чтобы быть уверенным, что буфер опустошается достаточно быстро.

Если же количество доступных выборок на канал (backlog) постоянно возрастает, то буфер может переполниться, и возникнет ошибка. Цикл по условию, содержащий ВП DAQmx Read, может быть остановлен либо пользователем, нажавшим кнопку на лицевой панели, либо при возникновении ошибки в ВП DAQmx Read, такой как переполнение буфера. После остановки цикла ВП DAQmx Stop Task остановит задачу и высвободит ресурсы, а ВП Simple Error Handler отобразит все возникшие ошибки.

Циклический буфер

Операция непрерывного буферизированного сбора данных достаточно сложна, поскольку компьютер использует один буфер, а вы получаете большее количество данных, чем может вместить буфер. Чтобы выполнить эту операцию, используйте циклический буфер. Следующий рисунок иллюстрирует работу циклического буфера.



Циклический буфер похож на обычный, только вместо завершения работы при достижении конца циклического буфера, вы начинаете запуск сначала. Буфер ПК назначается при задании значения на входе **samples per channel** (#выборок на канал) ВП DAQmx Timing. Когда ВП DAQmx Start Task запускает сбор данных, буфер ПК начинает заполняться данными. Процесс получения данных происходит внутри цикла по условию.

Предположим, что вы задали число выборок для чтения (**number of samples per channel to read)** равным значению между четвертью и половиной размера буфера. Когда число выборок на канал в буфере ПК станет равным количеству выборок для чтения, ВП DAQmx Read переместит это число выборок из буфера ПК в буфер LabVIEW. ВП DAQmx Read устанавливает флаг (метку), называемый текущим положением выборки, чтобы в дальнейшем продолжить считывание с места, где оно было остановлено.

Между тем, буфер ПК продолжает заполняться данными. Пока это происходит, ВП DAQmx Read продолжает передавать данные из буфера ПК в буфер LabVIEW. Когда метка конца данных достигает предела буфера ПК, то новые данные начинают записываться в начале этого буфера. Разница между меткой конца выборок и текущим положением выборки равна числу доступных выборок на канал (backlog). LabVIEW нужно считывать данные достаточно быстро, чтобы избежать случая, когда метка конца данных догонит текущее положение выборки. В противном случае, новые данные запишутся поверх старых, и LabVIEW выдаст ошибку.

Ошибка наложения записей

Наиболее распространенная ошибка, с которой вы можете столкнуться при выполнении непрерывного буферизированного сбора данных, это ошибка наложения

записей (overwrite error). Эта ошибка возникнет, когда метка конца выборок догонит текущее положение выборки, и данные будут накладываться друг на друга. Это происходит, если LabVIEW не достаточно быстро считывает данные из буфера ПК. Существует несколько способов, помогающих избежать этой ошибки, но не все из них можно применять в конкретной ситуации, так как некоторые срабатывают лучше, чем другие.

- Увеличьте число выборок на канал (размер буфера) в ВП DAQmx Timing. Эта мера не снимет проблему, если вы не опустошаете буфер с достаточной скоростью. Запомните норму числа выборок на канал для считывания: от четверти до половины размера буфера. Если увеличение размера буфера приведет к выполнению указанного условия, то это исключит ошибку.

- Опустошайте буфер быстрее, увеличивая число выборок на канал для считывания (number of samples per channel to read). Не устанавливайте этого числа слишком большим, поскольку при этом возникнет пауза в ВП DAQmx Read до тех пор, пока количество выборок в буфере не достигнет числа выборок для считывания. Время, затраченное на ожидание заполнения буфера выборками, могло быть потрачено на опустошение буфера.

- Уменьшите частоту выборок на канал в ВП DAQmx Timing. Эта мера замедлит скорость, с которой данные будут отправляться в буфер. Однако это может быть неприемлемо, если вам необходима определенная частота дискретизации.

- Избегайте замедления выполнения цикла из-за ненужного анализа данных внутри него.

Ошибка переполнения

Другая ошибка, которая может возникнуть при непрерывном буферизированном сборе данных, вызывается переполнением FIFO буфера DAQ устройства. Эта ошибка не настолько распространена, как ошибка наложения записи, но ее и не так легко исправить. Она появляется, когда FIFO буфер не опустошается достаточно быстро. При передаче данных в буфер компьютера состояние FIFO буфера зависит или от DMA или от IRQ, поэтому, когда FIFO буфер опустошается недостаточно быстро, есть всего лишь несколько способов предотвратить ошибку.

- Убедитесь, что, если DMA доступен, вы используете канал DMA для передачи данных. Прямой доступ к памяти (DMA) работает быстрее, чем запрос прерывания (IRQ), и это может значительно увеличить быстродействие. За большей информацией об использовании DMA обращайтесь как справке *NI-DAQmx Help* и узлу свойств DAQmx канала (DAQmx Channel Property Node) (свойство Data Transfer Mechanism (Механизм передачи данных)).
- Уменьшите частоту выборки на канал в ВП DAQmx Timing.

- Приобретите устройство с б**о**льшим FIFO буфером. Однако этот способ может только оттянуть появление проблемы вместо ее решения.

- Приобретите компьютер с более быстрой шиной, чтобы ускорить передачу данных из FIFO буфера в буфер компьютера. Переполнение обусловлено тем, что система не забирает данные из устройства с надлежащей скоростью. Поэтому компьютер с более быстрой шиной может переносить данные из FIFO буфера быстрее.

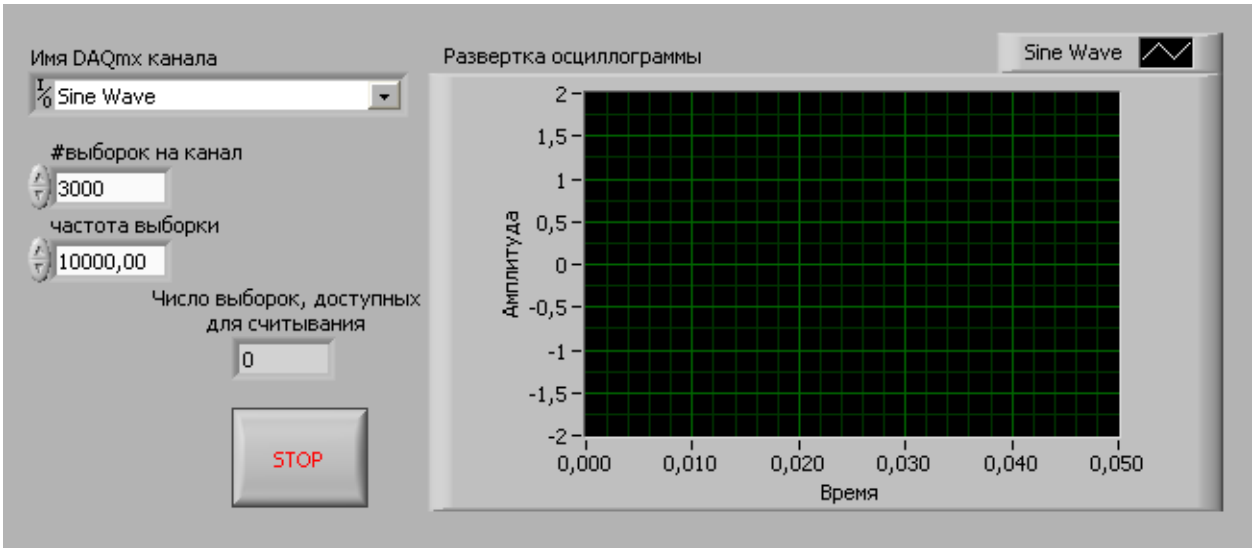
Упражнение 4-6. ВП непрерывного буферизированного сбора данных.

Задача: Непрерывно получать данные с помощью DAQ устройства и записывать их в файле.

Выполните следующие действия для создания ВП, который выполняет непрерывный сбор данных и отображает последние данные на развертке.

Лицевая панель

1. Откройте новый ВП и создайте следующую лицевую панель.



a. Большинство элементов управления вы можете создать из блок-диаграммы, вызывая контекстные меню соответствующих терминалов виртуальных приборов DAQmx и выбирая опцию **Create»Control**.

b. Щелкните правой кнопкой мыши на развертке осциллограмм и выберите свойства (**Properties)**. Нажмите вкладку формата и точности (**Format and Precision)**. Задайте формат оси x для отображения чисел с плавающей запятой с тремя разрядами точности.

c. Нажмите вкладку масштабов (**Scales**). Уберите выделение опции **Autoscale Y** в разделе для оси y и введите минимальное и максимальное значения `-2` и `2`, соответственно. Повторите то же самое для оси x, но минимальное и максимальное значения установите `0.00` и `0.05`, соответственно.

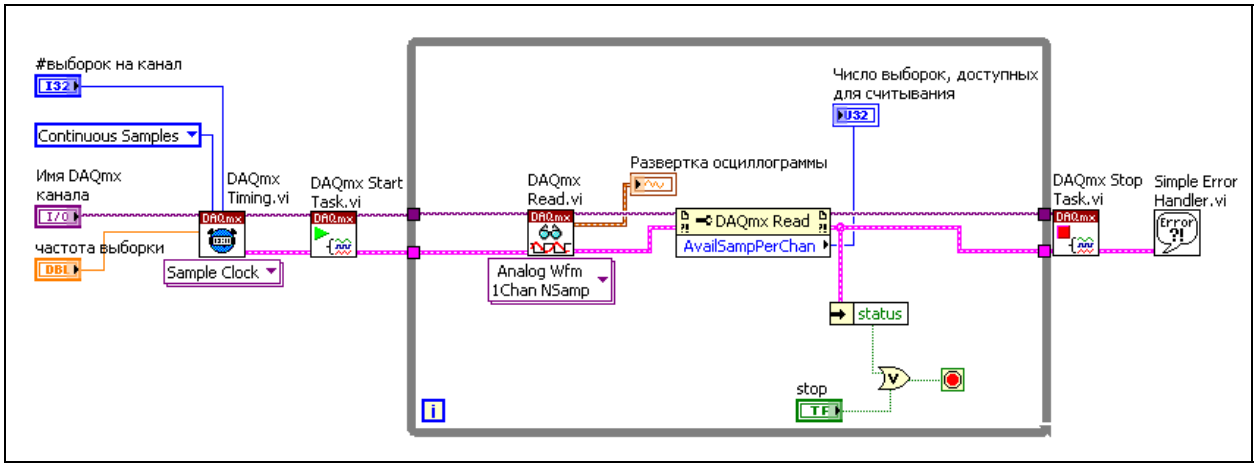
2. Установите для элементов управления следующие значения:

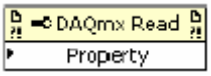
- **Имя DAQmx канала**: `Sine Wave`
- **Частота выборки**: `10000`
- **# выборок на канал**: `3000`

3. Присоедините выход синусоидального сигнала к аналоговому вводу ch1 на испытательной коробке.

Блок-диаграмма

4. Постройте следующую блок-диаграмму.





a. Поместите узел свойств DAQmx Read Property Node, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Используйте этот узел для получения дополнительной информации о состоянии буфера. Вызовите контекстное меню узла и выберите опцию **Properties»Status»Available Samples per Channel**. Это свойство отслеживает количество непрочитанных выборок на канал в буфере.

b. Поместите функцию разделения по имени (Unbundle by Name), расположенную в палитре **Functions»All Functions»Cluster**, на блок-диаграмму. Эта функция позволит выделить логическое значение **status** из кластера ошибок.

c. Поместите ВП Simple Error Handler, расположенный в палитре **Functions»All Functions» Time & Dialog**, на блок-диаграмму. В случае ошибки этот ВП вызовет диалоговое окно с информацией, касающейся ошибки и ее места возникновения.

5. Сохраните ВП под именем `Continuous Acquire.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

6. Перейдите на лицевую панель. Запустите ВП и вращайте ручку частоты на испытательной коробке. Наблюдайте за данными, которые отображает развертка. Данные заполняют буфер фиксированного размера в памяти, затем переписывают значения, заполняя буфер с начала.

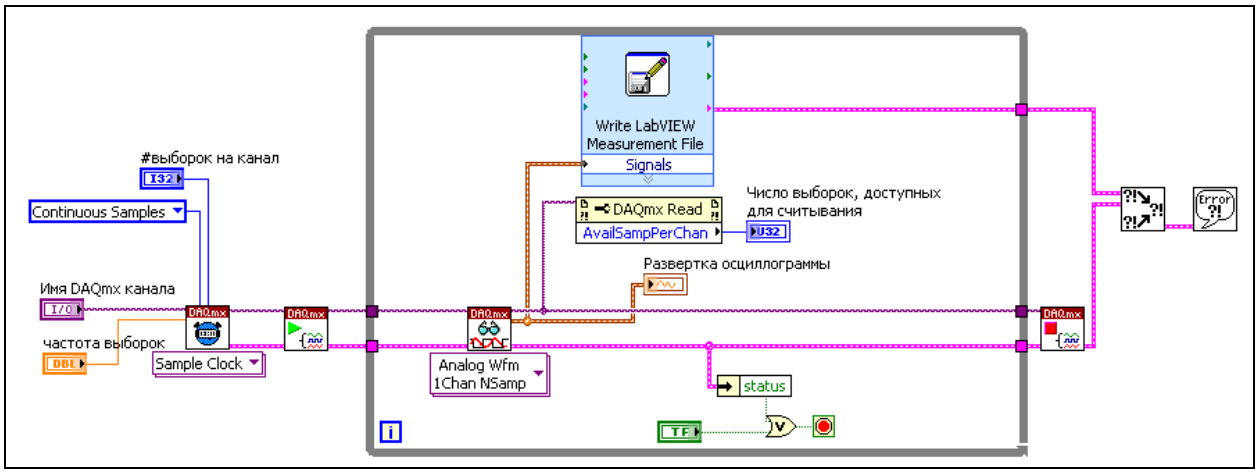
7. Понаблюдайте за величиной **Числа выборок, доступных для считывания** при уменьшении **частоты** или **количества выборок на канал**. Число доступных выборок на канал определяется как количество выборок на канал, принятых в буфер, но еще не считанных. Эта величина является мерой, насколько успешно вы справляетесь с непрерывным сбором данных. Если непрочитанные данные (backlog) непрерывно возрастают, то это признак недостаточной скорости считывания данных из буфера, что, в конце концов, приведет к их потере. Если это произойдет, ВП DAQmx Read возвратит ошибку.

Потоковая запись на диск

Измените ВП, чтобы осуществить потоковую запись полученных данных на диск.

8. Выберите **File»Save As** и сохраните ВП под именем `Continuous Acquire with File IO.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

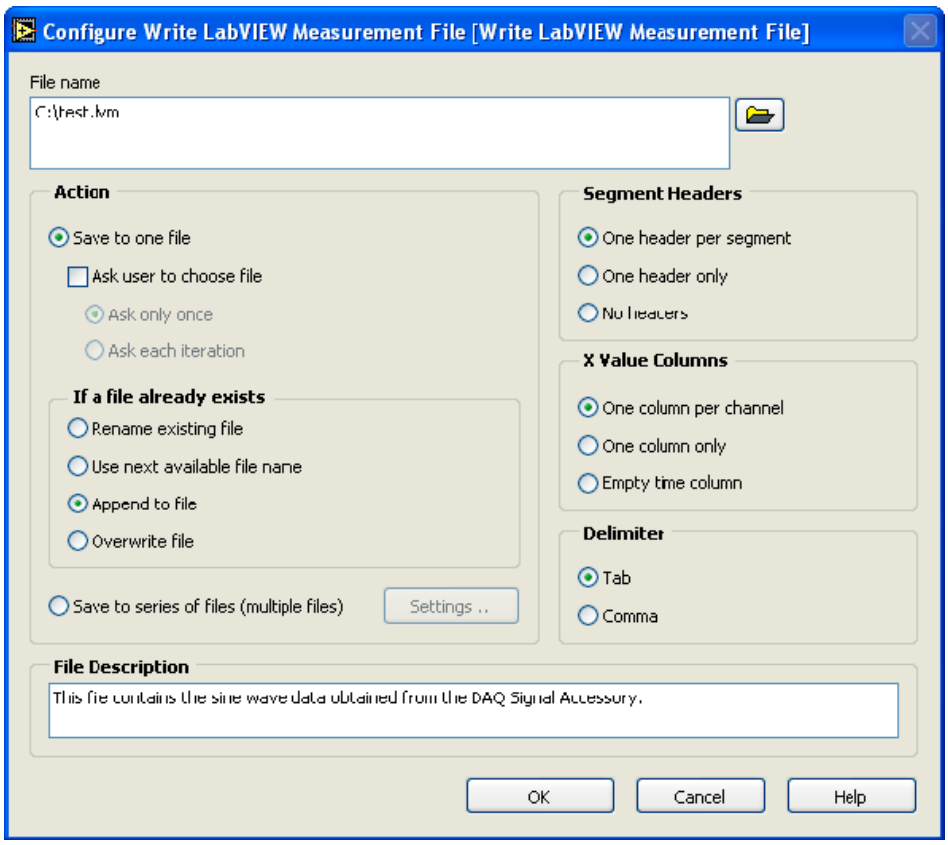
9. Измените блок-диаграмму, как показано на следующей иллюстрации.



a. Поместите ВП Merge Errors, расположенный в палитре **Functions»All Functions»Time & Dialog**, на блок-диаграмме. Этот ВП объединяет кластеры ошибок из различных функций в один.

b. Поместите экспресс-ВП Write LabVIEW Measurement File, расположенный в палитре **Functions»Output**, на блок-диаграмме. Этот экспресс-ВП записывает измерительные данные в файл.

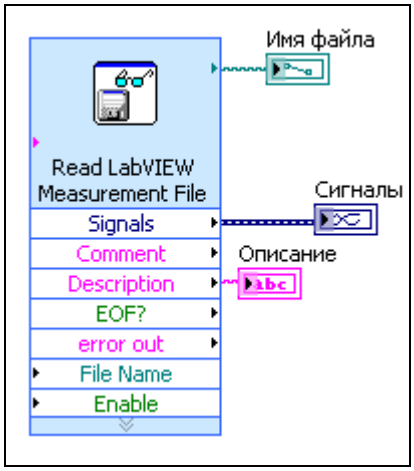
– В диалоговом окне настройки **Configure Write LabVIEW Measurement File** выберите следующий опции:



10. Нажмите кнопку **OK** для выхода из диалогового окна настройки.

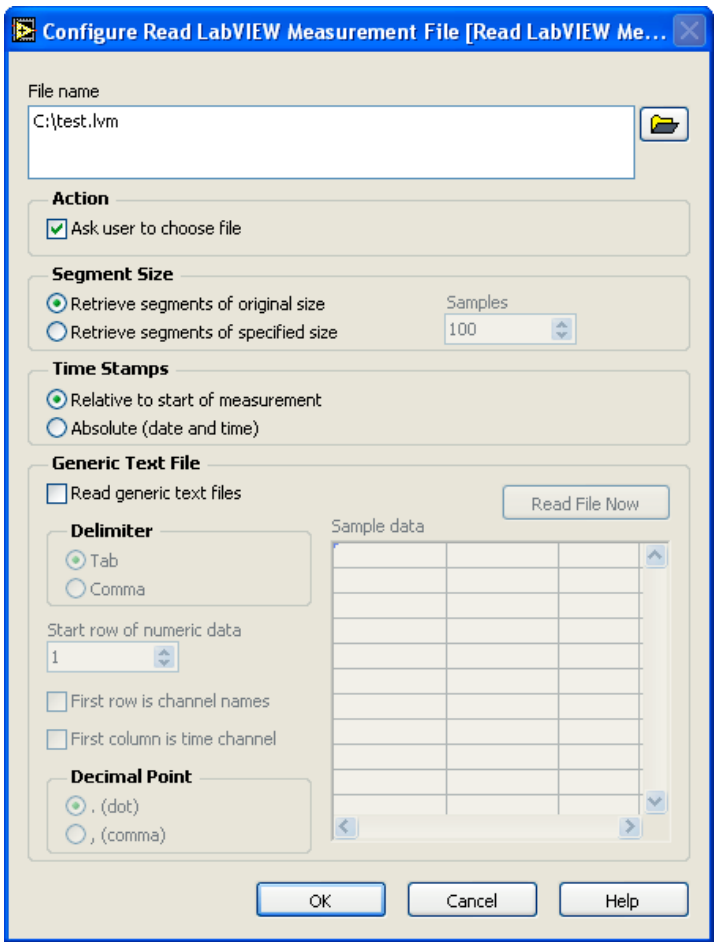
11. Сохраните и запустите ВП.

12. Откройте новый ВП и постройте следующую блок-диаграмму для создания ВП, прочитывающего файл измерительных данных LabVIEW.



a. Поместите экспресс-ВП Read LabVIEW Measurement File, расположенный в палитре **Functions»Input**, на блок-диаграмме. Этот экспресс-ВП считывает измерительные данные LabVIEW из файла.

– В появившемся диалоговом окне настройки **Configure Read LabVIEW Measurement File** выберите следующий опции:



13. Нажмите кнопку **OK** для применения изменений и закрытия диалогового окна.

14. На блок-диаграмме измените размер экспресс-ВП Read LabVIEW Measurement File для отображения большего количества выходных терминалов.

15. Щелкните правой кнопкой мыши на выходах **File Name** и **Description** и выберите **Create»Indicator** из появившегося контекстного меню. Щелкните правой кнопкой мыши на выходе **Signals** и выберите **Create» Graph Indicator** из появившегося контекстного меню.

16. Запустите ВП. Сигнал, полученный предыдущим ВП, теперь появится на графике осциллограмм.

17. Сохраните ВП под именем `Read Data File.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

18. Закройте все ВП.

Конец упражнения 4-6

Упражнение 4-7. Потоковая запись данных в несколько файлов.

Задача: использовать экспресс-ВП Write LabVIEW Measurement File для потоковой записи данных в несколько файлов.

При большом количестве данных, возможно, более удобно записывать данные в несколько файлов с тем, чтобы можно было упорядочивать и координировать файлы данных. С этой целью можно настроить экспресс-ВП Write LabVIEW Measurement File. Запись в несколько файлов может также предотвратить потерю данных в случае аварийного завершения программы или отказа в работе системы.

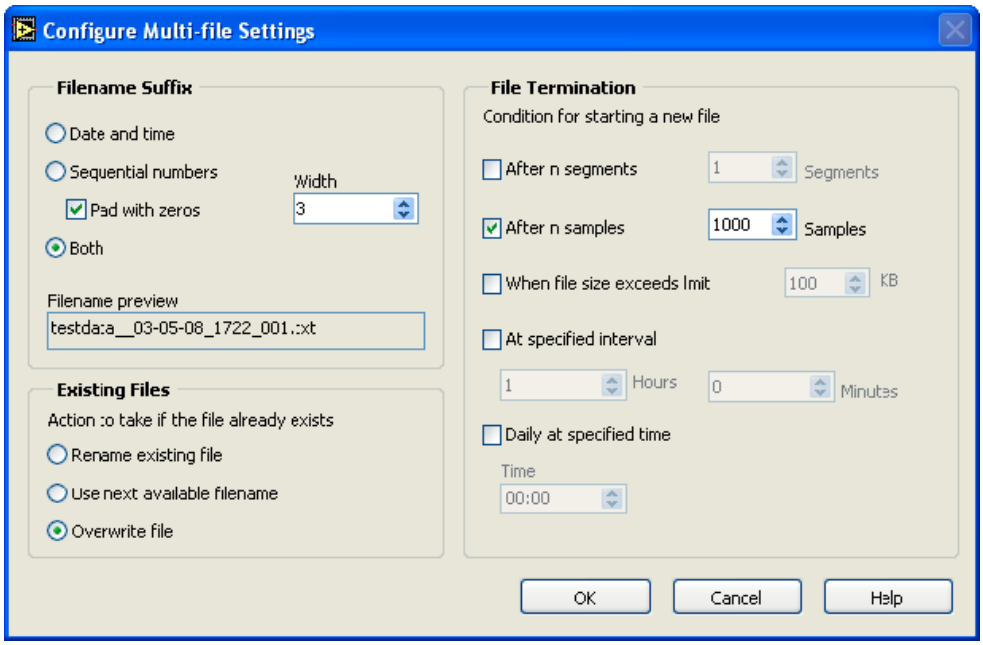
1. Откройте ВП `Continuous Acquire with File IO.vi`, расположенные в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

2. Дважды щелкните по экспресс-ВП Write LabVIEW Measurement File для открытия диалогового окна **Configure Write LabVIEW Measurement File**.

a. В разделе диалогового окна **Action** выберите опцию **Save to series of files (multiple files)**.

b. Нажмите кнопку **Settings** для открытия диалогового окна **Configure Multi-file Settings**.

c. Сделайте настройки в диалоговом окне **Configure Multi-file Settings** как показано на следующем рисунке.



d. Нажмите кнопку **OK** для выхода из диалогового окна **Configure Multi-file Settings**.

e. Нажмите кнопку **OK** для выхода из диалогового окна **Configure Write LabVIEW Measurement File**.

3. Запустите ВП на несколько секунд.

4. Откройте ВП Read Data File, расположенный в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ` и переключитесь на его блок-диаграмму.

5. Дважды щелкните на экспресс-ВП Read LabVIEW Measurement File, чтобы открыть диалоговое окно **Configure Read LabVIEW Measurement File**.

a. В разделе **Action** поставьте отметку в окошке **Ask User to choose file**.

b. Нажмите кнопку **OK** для выхода из диалогового окна.

6. Запустите ВП. Должно появиться всплывающее окошко, предлагающее выбрать файл для чтения. Просмотрите директорию `C:\` и найдите созданные файлы данных.

7. Выберите один из файлов для чтения и нажмите кнопку **OK**.

8. Запустите ВП снова и выберите для чтения другой файл.

9. Сохраните и закройте все ВП.

Конец упражнения 4-7

Упражнение 4-8. Аналоговый ввод, синхронизированный по фронту дискретного сигнала.

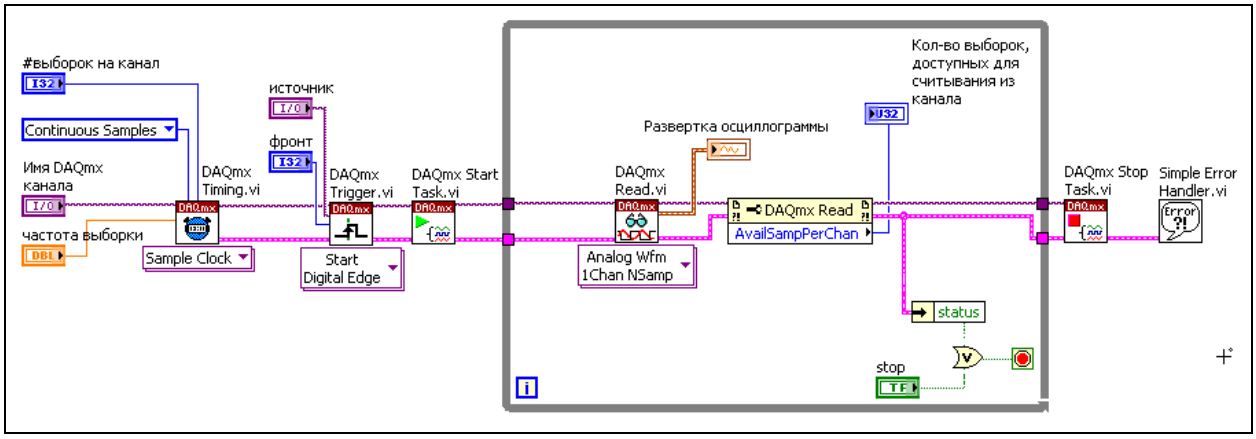
Задача: Использовать цифровой триггер для запуска операции непрерывного сбора данных.

Выполните следующие шаги для создания ВП, использующего цифровой триггер для запуска непрерывного сбора данных.

1. Откройте ВП Continuous Acquire, расположенный в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.
2. Выберите **File»Save As** и сохраните ВП под именем `Trigger Continuous Acquire.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.
3. Присоедините выход синусоидального сигнала к аналоговому входу CH1 на испытательной коробке.

Блок-диаграмма

4. Откройте блок-диаграмму и поместите туда ВП DAQmx Trigger, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition.** Этот ВП настраивает триггер. Вызовите контекстные меню вводов **edge** и **source** и выберите **Create»Control**, как показано на следующем рисунке.



5. Откройте лицевую панель и введите следующие значения:

- **Имя DAQmx канала**: `Sine Wave`
- **#выборок на канал**: `1000`
- **Частота выборки**: `5000`
- **Источник**: `/DevX/PFI0`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства в MAX.
- **Фронт**: `Rising`

6. Сохраните ВП.
7. Запустите ВП. Он не будет собирать данные до тех пор, пока не возникнет триггерное событие. Нажмите кнопку цифрового триггера для запуска непрерывного сбора данных.

8. Остановите и закройте ВП после завершения работы.

Конец упражнения 4-8

Упражнение 4-9. Генератор кода NI-DAQmx

Задача: Использовать генератор кода NI-DAQmx для создания программы, выполняющей непрерывной сбор данных.

Наличие генератора кода NI-DAQmx позволяет вам быстро создать прототип и ускорить разработку ВП. Для улучшения приложений, созданных таким образом, применяйте технику программирования сбора данных, с которой вы познакомились в данном курсе.

Лицевая панель

1. Поместите элемент управления DAQmx Task Name, расположенный в палитре **Controls»All Controls»I/O»DAQmx Name Controls**, на лицевую панель.

2. Выберите **Edit Task** из выпадающего меню этого элемента управления.

3. Используйте Помощника по сбору данных (DAQ Assistant) для настройки установок, тактирования и триггеров задачи. На вкладке **Task Timing** выберите `Acquire Continuously`. Остальные значения оставьте по умолчанию.

4. Нажмите кнопку **OK** для выхода из помощника.

5. Вызовите контекстное меню задачи и выберите **Generate Code»Configuration and Example**.

Можно выбрать следующие опции для генератора кода:

- **Example**— Генерирует код примера измерения, которое вы настроили в Помощнике по сбору данных.

- **Configuration**— Генерирует код программной настройки задачи с помощью ВП DAQmx Create Virtual Channel.

- **Configuration and Example**— Генерирует код программной настройки задачи и демонстрации примера измерения или генерации сигнала.

6. Блок-диаграмма возникнет автоматически после генерации кода. Обратите внимание, что элемент управления the DAQmx Task Name был преобразован в ВП.

7. Дважды щелкните на этом подприборе и посмотрите на блок-диаграмму. Откройте окно контекстной справки, нажав клавиши <Ctrl-H> или выбрав **Help»Show Context Help**. Проведите мышкой над каждой из функций, чтобы отобразить больше информации об этих функциях в окне контекстной справки.

8. Закройте ВП. Не сохраняйте никаких изменений.

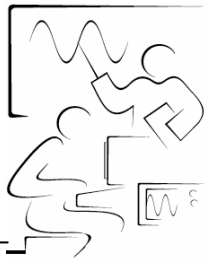
Конец упражнения 4-9

Итоги

- Используйте теорему Найквиста для определения необходимой частоты выборки.
- Использование имен DAQ каналов и типа данных «осциллограмма» делает программирование сбора данных нетрудным и легким в модификации.
- Одноточечный сбор данных тактируется программно, он не буферизирован и применяется для медленно меняющихся сигналов.
- Циклическая, интервальная и одновременная выборки по-разному влияют на фазовые соотношения между сигналами.
- Буферизированный сбор данных тактируется аппаратно и использует при этом постоянный буфер.
- Непрерывный сбор данных тактируется аппаратно с использованием циклического буфера.
- Буферизированный или непрерывный сбор данных можно настроить на запуск по цифровым или аналоговым сигналам. Если DAQ устройство не поддерживает аналоговых триггеров, используйте логические функции для инициализации сбора.
- Вы можете использовать потоковую запись данных на диск для последующего анализа и представления.
- Используйте возможности генератора кода NI-DAQmx для быстрого создания прототипа приложений.

Примечания

Занятие 5 (дополнительно)
Согласование сигналов



На этом занятии вы познакомитесь с тем, как согласовать сигналы в системе сбора данных для наиболее точного измерения разнообразных физических явлений. Здесь также приведено описание методов согласования, улучшающих качество сигнала.

Задачи:

A. Введение в согласование сигналов
B. Конфигурация системы согласования сигналов
C. Основные функции согласования
D. Согласование сигналов с датчиков

A. Введение в согласование сигналов

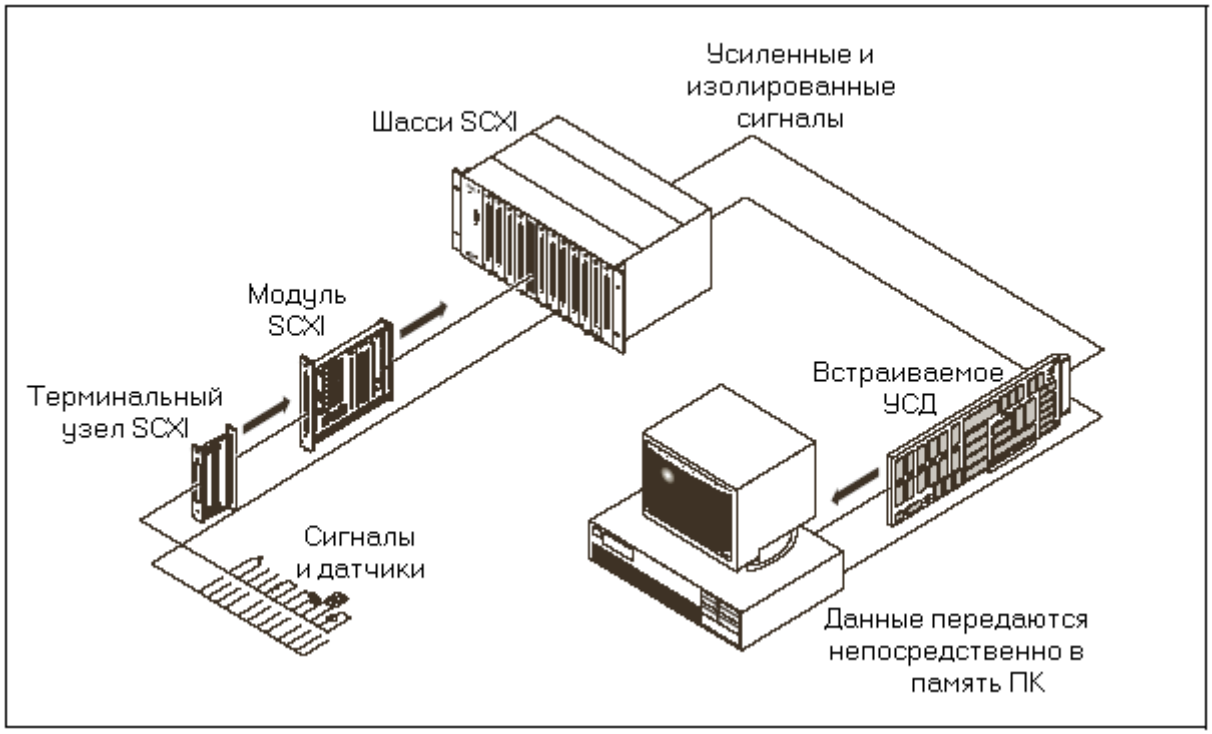
Типичная автоматизированная измерительная система включает в себя измеряемое физическое явление, датчик (измерительный преобразователь), систему согласования сигнала, устройство сбора данных и компьютер. Источником сигнала чаще всего является датчик, измеряющий физическое явление. Различные типы и модели датчиков выдают сигналы, уровни которых меняются в широких пределах. Сигнал с датчика чаще всего подается на устройство согласования. Подключение осуществляется по двум или более соединительным проводам, длина которых простирается от единиц сантиметров до километров, и которые в реальных системах часто подвержены наводкам от высоковольтных источников и иным электромагнитным помехам. В большинстве случаев качество сигнала определяется качеством подключения вблизи источника.

Практически у всех реальных датчиков и измерительных преобразователей выходной сигнал нуждается в предварительной обработке для того, чтобы устройство сбора данных (УСД) могло точно и надежно его измерить и ввести в компьютер. Такая предварительная обработка, чаще именуемая *согласованием сигнала*, может включать функции усиления, фильтрации, электрическую изоляцию, мультиплексирование. Системы согласования сигнала либо встраивают непосредственно в устройство сбора данных, либо размещают в отдельных устройствах, таких как Signal Conditioning eXtensions for Instrumentation (SCXI) или Signal Conditioning Components (SCC). Задачей всех таких устройств является приведение входного сигнала к уровню и виду, оптимальному для измерения при помощи аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

Устройство сбора данных чаще всего представляет собой модуль (плату), встраиваемую в компьютер, например, семейство DAQ компании National Instruments. УСД обладает всеми необходимыми функциями для точного и надежного ввода предварительно согласованных сигналов в компьютер, который затем позволяет анализировать, сохранять и отображать результаты.

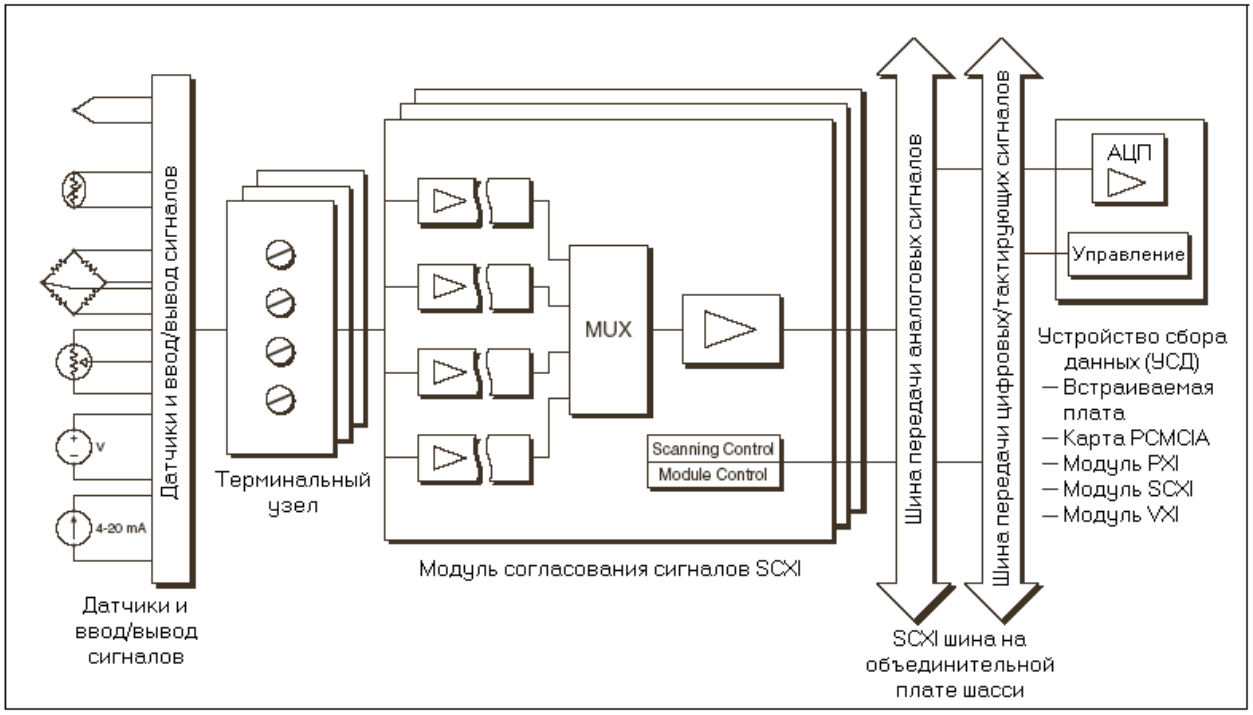
B. Конфигурация системы согласования сигналов

SCXI – завершенная архитектура согласования сигналов, обеспечивающая многофункциональную высокопроизводительную обработку сигнала разнообразных датчиков. На рисунке приведена типовая измерительная система с согласованием сигналов.



Датчики напрямую подсоединяются к Терминальным Узлам (terminal block). Инструментальное шасси (SCXI Chassis) служит для размещения модулей SCXI, обеспечения их электропитания и управления ими через специальную служебную шину SCXIbus. Шасси SCXI, в свою очередь, подключается к встроенному в компьютер устройству сбора данных, которое управляет работой всего шасси.

Следующий рисунок иллюстрирует архитектуру системы согласования сигналов SCXI.



Датчики подсоединяются к терминальным узлам, которые подключаются к лицевым панелям модулей SCXI, размещенных в инструментальном шасси. Каждый модуль SCXI использует мультиплексор для передачи согласованного сигнала на шину SCXIbus. УСД задает алгоритм управления всего шасси.

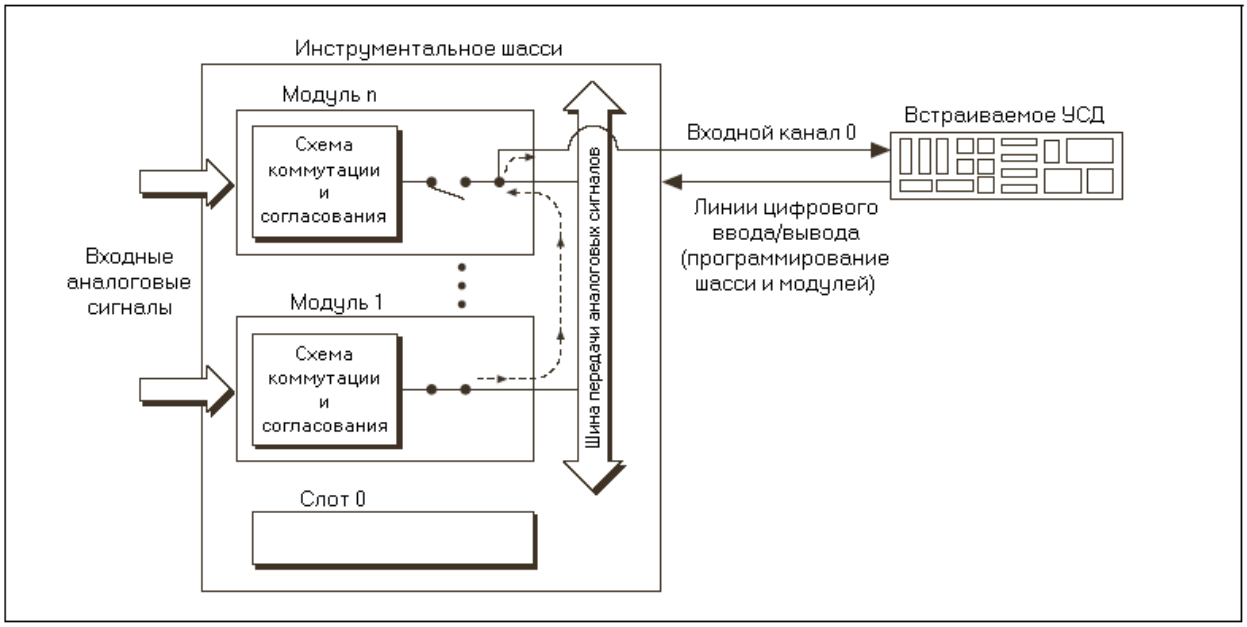
Аналоговые SCXI-модули могут работать в параллельном или мультиплексном режиме. В параллельном режиме модули не используют мультиплексирование сигналов, а просто передают согласованные сигналы напрямую на соответствующие входные каналы УСД. Таким образом, каждый модуль соединяется прямым кабелем со своим индивидуальным УСД и каждое УСД в компьютере может принимать сигналы только от одного SCXI модуля. При работе в параллельном режиме производительность («скорость») сбора данных определяется исключительно возможностями УСД, а не SCXI системы.

На практике большинство SCXI систем работает в мультиплексном режиме. Мультиплексирование (или сигнальная коммутация) позволяет направлять сотни согласованных сигналов на одно УСД. В мультиплексном режиме сигнальный кабель от одного УСД подключается к одному из модулей в шасси SCXI. Часть цифровых линий ввода/вывода УСД будет задействована для управления модулями и шасси в целом, а именно – три или четыре линии цифрового вывода и линия EXTSTROBE для контроля SCXI системы. Дополнительно, линии цифрового ввода будут использованы для считывания информации с модулей SCXI.

При работе с SCXI модулями аналогового ввода, вы можете проводить измерения сигналов, выполняя одноканальное считывание либо многоканальный опрос с аппаратным тактированием.

Во время считываний из одного канала УСД периодически записывает набор цифровых сигналов (digital pattern) в нулевой слот (SCXI Slot 0), расположенный в шасси SCXI, указывая, к какому SCXI модулю происходит обращение. Затем УСД записывает набор цифровых сигналов в модуль, указывая, из какого входного канала происходит считывание, и который настраивает модуль на передачу полезного сигнала через

аналоговую шину (analog bus) шасси SCXI. В результате, сигнал перенаправляется в канал аналогового ввода УСД. Затем УСД производит считывание из канала 0. Этот алгоритм изображен на следующем рисунке. Когда вы вызываете какие-либо функции одноканального аналогового ввода, то все вышеуказанные низкоуровневые операции цифрового взаимодействия и перенаправления сигнала выполняет инструментальный драйвер NI-DAQ.



При многоканальном опросе УСД программирует нулевой слот SCXI, задавая список модулей и число опрашиваемых каналов для каждого модуля. Для каждого модуля также указывается канал, с которого начинается опрос. После этого УСД или модуль начинают многоканальный опрос. Сигнал SCANCLK, генерируемый УСД, синхронизирует мультиплексирование SCXI с внутренним тактовым генератором, запускающим аналого-цифровые преобразования в УСД. SCXI Slot 0 включает либо отключает модули в соответствии с предварительно запрограммированным списком. Таким образом, система мультиплексирует каналы нескольких модулей, подключая их к каналу аналогового ввода УСД с очень большой частотой. Драйвер NI-DAQ содержит высокоуровневые функции, выполняющие операции многоканального опроса.

Для настройки SCXI системы выполните следующие действия.

1. Убедитесь, что к нужному модулю присоединен нужный набор кабелей и соответствующий адаптер.

2. Присоедините модуль к УСД.

3. Убедитесь, что к выбранному модулю присоединен правильный терминальный узел.

4. Включите шасси SCXI.

⚠ **Предупреждение.** Модули SCXI нельзя переставлять при включенном шасси. Убедитесь, что шасси обесточено перед удалением или добавлением модулей, терминальных узлов или кабелей.

Упражнение 5-1. Настройка SCXI с использованием проводника по средствам измерений и автоматизации

Задача: Использовать MAX для настройки подсистемы согласования сигналов для компьютерной системы сбора данных.

⚠ **Предупреждение.** Модули SCXI нельзя переставлять при включенном шасси. Убедитесь, что шасси обесточено перед удалением или добавлением модулей, терминальных узлов или кабелей.

1. Выключите шасси SCXI.

2. Проверьте 4-слотовое шасси SCXI-1000, модули и терминальные узлы. Шасси должно содержать модули, начиная с первого слота (крайний левый) до четвертого (крайний правый). Следующие список включает модули, которые вы будете использовать в более поздних упражнениях.

- Слот 1—SCXI-1520 8-канальный универсальный терминальный узел для тензодатчиков

- Слот 2—SCXI-1180 панель сквозного соединения

  SCXI-1180 позволяет получить доступ к неиспользуемым каналам УСД с лицевой панели шасси SCXI.

  – SCXI-1302 терминальный узел общего назначения

- Слот 3—SCXI-1125 8-канальный изолированный усилитель

  – SCXI-1327 терминальный модуль

- Слот 4—SCXI-1141 8-канальный эллиптический фильтр нижних частот

  – SCXI-1304 терминальный узел (signal ground referencing)

3. Взгляните на заднюю панель шасси SCXI-1000. Модель в первом слоте должен иметь вставленный кабельный адаптер SCXI-1349 для УСД E-серии. Обратите внимание, что SCXI-1349 содержит 68-контактый кабельный разъём в задней части и 50-контактный разъем сбоку. 68-контактный задний разъем предназначен для присоединения кабеля, идущего от УСД в компьютере. А 50-контактный разъем служит для доступа к неиспользуемым каналам УСД.

4. SCXI-1180 (слот 2) – это не модуль, а панель сквозного соединения, которая содержит кабель, соединяющий боковой разъем адаптера SCXI-1349, и которая позволяет получить доступ к неиспользуемым каналам УСД с лицевой панели инструментального шасси.

5. Присоедините УСД к инструментальному шасси, и вы получите доступ к неиспользуемым каналам УСД.

a. Возьмите кабель, идущий от УСД в компьютере, и отсоедините его от испытательной

коробки.

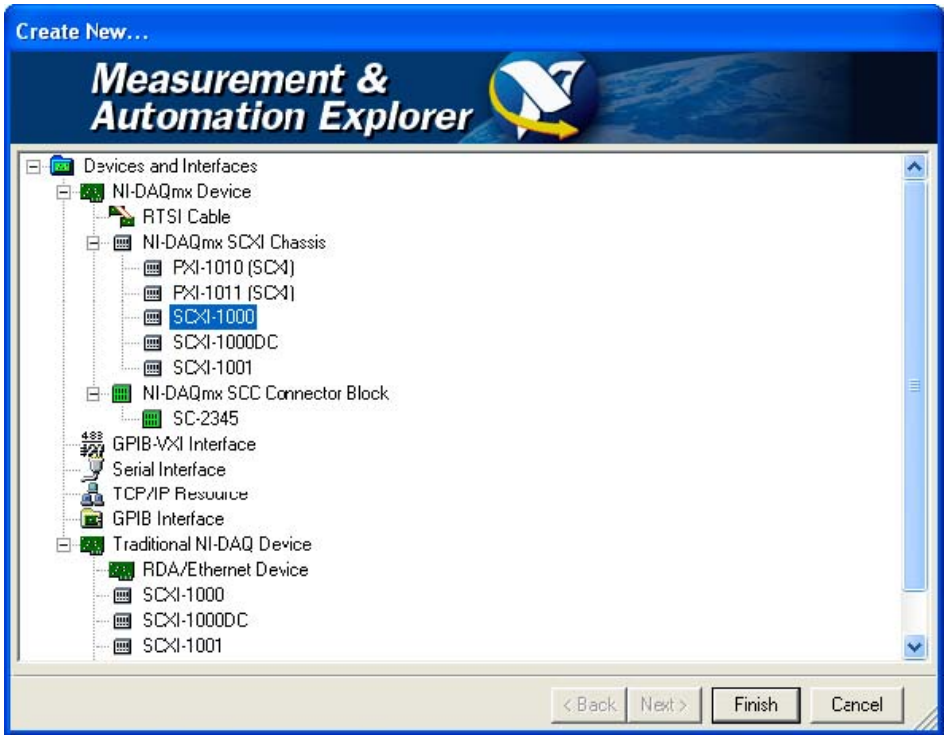
b. Убедитесь, что адаптер SCXI-1349 присоединен к тыльной стороне SCXI-1520 в слоте 1 инструментального шасси.

c. Вставьте DAQ кабель в 68-контактный задний разъем SCXI-1349.

6. Включите инструментальное шасси.

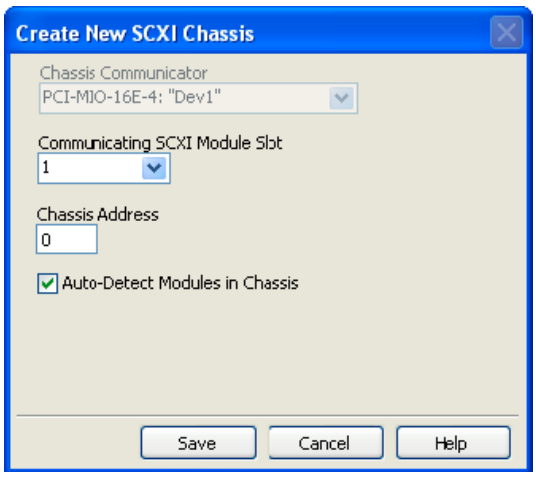
7. Запустите MAX двойным нажатием кнопки мыши на иконке на рабочем столе. Щелкните правой кнопкой мыши на разделе **Devices and Interfaces** и выберите **Create New** из контекстного меню.

8. Выберите устройство **Devices and Interfaces»NI-DAQmx Device»NI-DAQmx SCXI Chassis»SCXI-1000** и нажмите кнопку **Finish**.

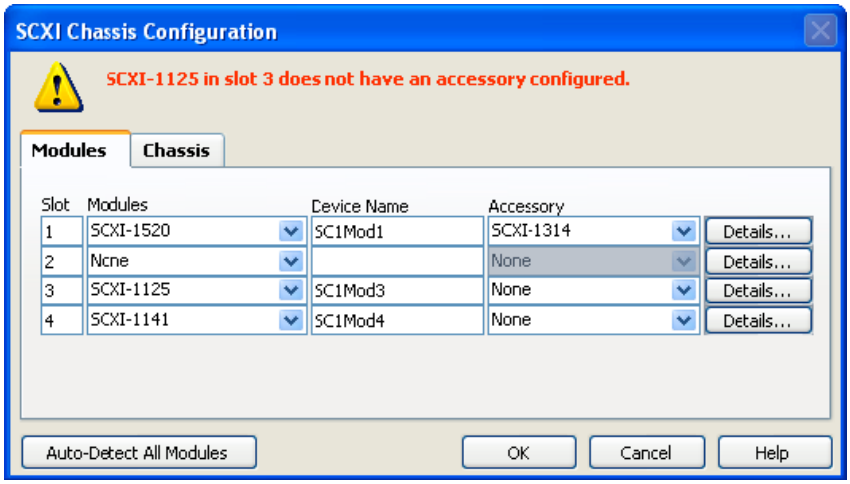


9. Выберите модульный слот SCXI, который будет взаимодействовать с УСД. В нашем случае первый модуль, SCXI-1520, имеющий кабельный адаптер SCXI-1349, присоединенный к его задней панели, будет взаимодействовать с УСД. Выберите **1** из выпадающего меню **Communicating SCXI Module Slot**.

10. В диалоговом окне Create New SCXI Chassis, установите для **Chassis Address** значение **0**. Поставьте отметку в поле **Auto-Detect Modules in Chassis** и нажмите кнопку **Save**.



11. Должно появиться диалоговое окно **SCXI Chassis Configuration**, как показано на следующем рисунке.



Примечание. SCXI-1180 – это панель сквозного соединения, которая не будет обнаружена в качестве модуля. В диалоговом окне **SCXI Chassis Configuration** ее слот будет показан пустым.

a. Для модуля SCXI-1125 выберите **SCXI-1327** из выпадающего меню **Accessory**.
b. Для модуля SCXI-1141, выберите **SCXI-1304** из выпадающего меню **Accessory**.
c. Нажмите кнопку **OK** для выхода из диалогового окна.

12. Зайдите в раздел **Devices and Interfaces**, затем в **NI-DAQmx Devices**, чтобы увидеть **SCXI-1000: "SC1"**. После этого щелкните дважды на опции **SCXI-1000: "SC1"**, чтобы увидеть список установленных модулей.

13. Щелкните правой кнопкой мыши на опции **SCXI-1000: "SC1"** и выберите **Test** из контекстного меню. Нажмите кнопку **OK**. Если шасси не прошло контрольной проверки, скажите об этом инструктору.

14. Посмотрите для каждого из модулей вкладку **Attributes**, отображающую информацию о свойствах модуля, которые вы настроили в диалоговом окне **SCXI Chassis Configuration**.
15. Выйдете из MAX.

Конец упражнения 5-1

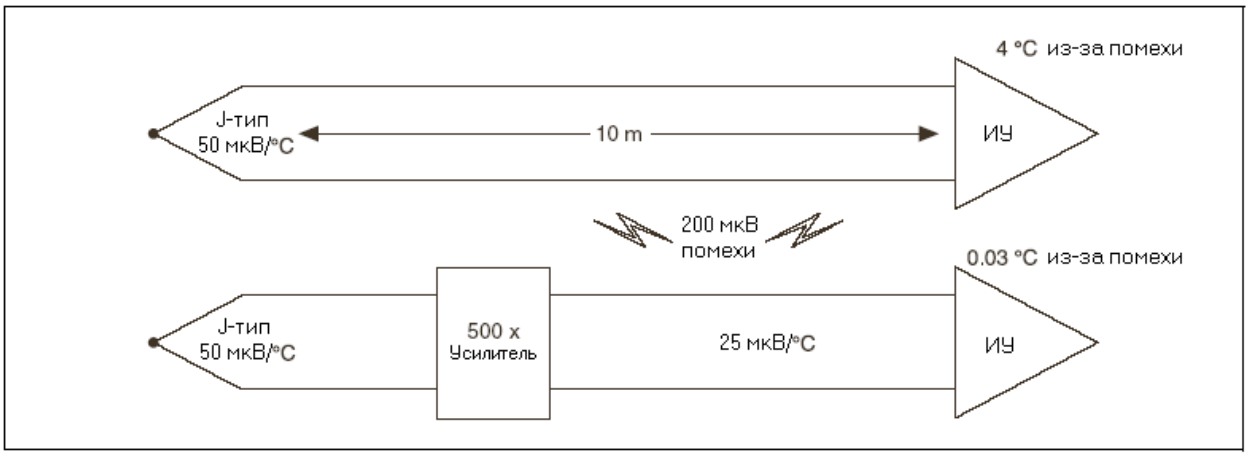
C. Основные функции согласования

Кроме манипулирования со специфическими измерительными преобразователями устройства согласования сигналов могут выполнять широкий набор универсальных функций согласования для улучшения качества, гибкости и надежности измерительной системы.

Усиление сигнала

Поскольку реальные сигналы часто имеют чрезвычайно маленькую амплитуду, согласование сигнала может увеличить точность принимаемых данных. Усилители увеличивают уровень входного сигнала для лучшего соответствия рабочему диапазону АЦП, что позволяет увеличить разрешающую способность и чувствительность измерения. Хотя большинство УСД содержат усилители, многие измерительные преобразователи, такие как термопары, требуют дополнительного усиления.

Многие измерительные преобразователи генерируют напряжение в диапазоне нескольких милливольт или даже микровольт. Усиление этих слабых сигналов непосредственно УСД приводит к усилению и шумов (помех), наведенных на сигнальные провода. Когда сигнал очень слаб, то даже небольшого шума достаточно для полного заглушения сигнала, что приведет к неправильным данным. Самый простой способ увеличить отношение сигнал-шум заключается в усилении сигнала как можно ближе к его источнику. Это поднимет уровень сигнала выше уровня шума до того, как наведенный шум сможет безнадежно испортить сигнал. Например, следующая иллюстрация показывает сигнал термопары J типа, который меняется с шагом 50 мкВ/°С.



Предположим, что подводящие провода термопары, соединяющие ее с УСД, имеют длину 10 м и проложены в среде со сложной шумовой обстановкой. Если источник шума в окружающей обстановке наводит 200 мкВ на подводящие провода термопары, то мы получим при измерении температуры дополнительные 4 °С из-за шума. Усиление сигнала в непосредственной близости от термопары перед воздействием шума уменьшит влияние последнего на конечный результат измерения. Если мы усилим сигнал в 500 раз вблизи термопары, это приведет у шагу сигнала примерно 25 мВ/°С. Если усиленный сигнал будет передаваться во 10 метровым проводам, то наведенный шум амплитудой 200 мкВ значительно меньше повлияет на результат измерения, добавляя лишь 0.03 °С.

Упражнение 5-2. Настройка усиления

Задача: Настроить коэффициент усиления (КУ) в каналах 0 и 1 модуля SCXI-1125 и наблюдать различие настроек КУ на развертке осциллограмм в LabVIEW.

Предупреждение. Модули SCXI нельзя переставлять при включенном шасси. Перед удалением или добавлением модулей, терминальных узлов или кабелей убедитесь, что шасси обесточено.

1. Запустите MAX и раскройте раздел **Devices and Interfaces»NI-DAQmx Devices»SCXI-1000: "SC1"**.

2. Щелкните правой кнопкой на опции **3: SCXI-1125: "SC1Mod3"** и выберите **Properties** из контекстного меню. Нажмите кнопку **Configure**. Выберите вкладку **Gain Configuration** и настройте каналы 0 и 1 следующим образом:

- **Channel**: `0` **Attenuation**: `1.00`

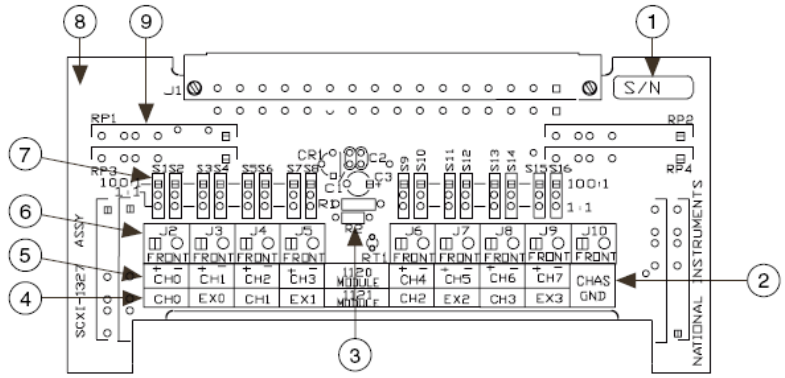
- **Channel**: `1` **Attenuation**: `1.00`

3. Нажмите дважды кнопку **OK** для выхода из диалогового окна **Details: SCXI-1125 SC1Mod3**.

Присоединение термопары к каналам 0 и 1 терминального узла SCXI-1327

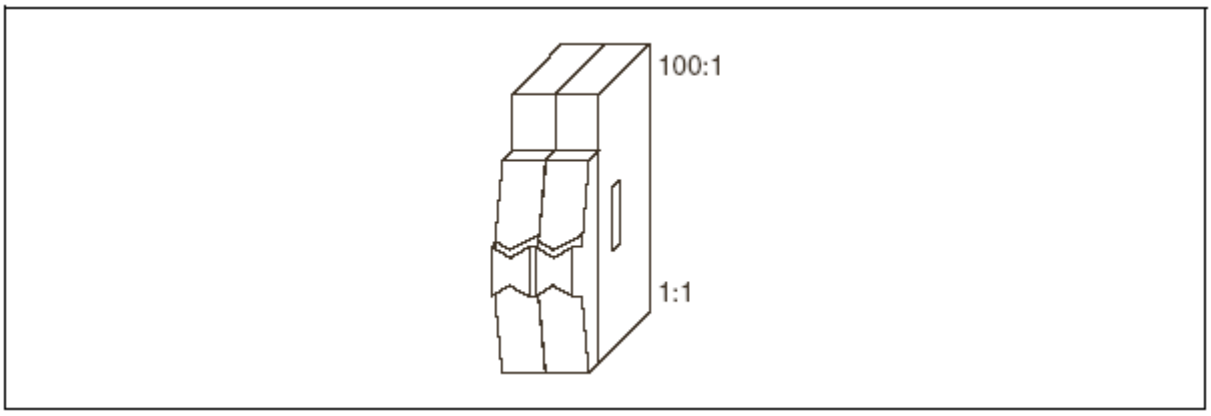
Предупреждение. Перед тем как продолжить выполнение убедитесь, что терминальный узел SCXI-1327 *не* присоединен к модулю SCXI-1125. Если же присоединен, то сначала выключите питание шасси, затем отделите SCXI-1327, отвернув верхний и нижний винты, которыми узел крепится к SCXI-1125.

4. Снимите защитную крышку терминального узла SCXI-1327. Изучите следующую схему и найдите соответствующие компоненты SCXI-1327.



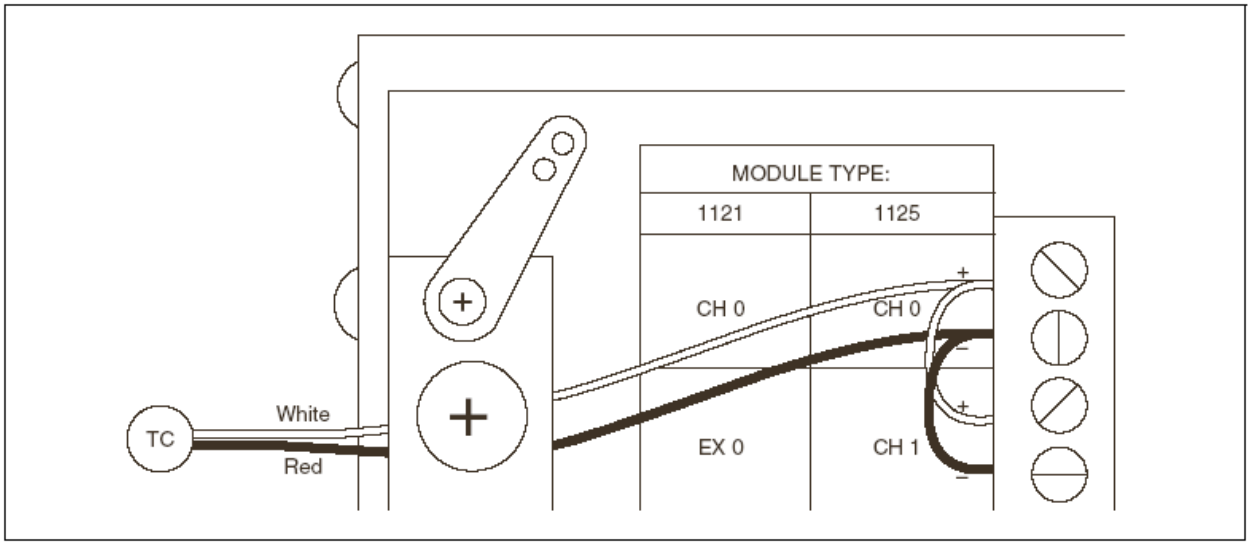
1 Серийный номер
2 Заземление шасси
3 Термистор
4 Маркировка каналов для SCXI-1121
5 Маркировка каналов для SCXI-1120, SCXI-1120D, SCXI-1125, SCXI-1126
6 Зажимные контакты
7 Переключатели ослабления
8 Наименование изделия, шифр комплекта, буква ревизии
9 Делители напряжения

5. Найдите переключатели, используемые для шунтирования схемы ослабления сигнала в каналах CH 0 (S1 и S2) и CH 1 (S3 и S4). Убедитесь, что все они установлены в состояние 1:1, как показано на следующем рисунке.



6. Используя термопару, выполните подсоединения, как показано на следующем рисунке.

Примечание. Используйте провода, сделанные из того металла, что и термопара. Белый провод изготовлен из железа, красный – из константана. Попросите инструктора проверить правильность использования проводов.



a. Присоедините белый провод от термопары к контакту CH 0+, а другой – к CH 0–.

b. Возьмите по небольшому образцу каждого из проводов, которые вы использовали для создания термопары, и присоедините их к CH 0 в соответствии с указаниями:

– Присоедините белый провод к положительному (+) зажимному контакту канала CH 0 и заверните до упора. Убедитесь, что и провод и термопара прочно удерживаются контактом.

– Присоедините красный провод к отрицательному (–) зажимному контакту канала CH 0 и заверните винт до упора. Убедитесь, что и провод и термопара прочно удерживаются контактом.

c. Присоедините белый провод к CH 1+.

d. Присоедините красный провод к CH 1–.

e. Верните крышку SCXI-1327 на место и закрепите ее, завернув винты.

f. Присоедините SCXI-1327 к лицевой панели модуля SCXI-1125, завернув верхний и нижний винты.

g. Включите шасси.

7. Возвратитесь в MAX и щелкните правой кнопкой мыши на опции **NI-DAQmx Global Channels** в разделе **Data Neighborhood**. Выберите **Create New NI-DAQmx Channel** из контекстного меню. Произведите следующие настройки первого канала:

- **Measurement Type**: `Analog Input`
- **Sensor Type**: `Voltage`. В данном упражнении термопара рассматривается как источник очень слабого напряжения, а не как преобразователь температуры. Специальный канал для термопары вы создадите позже.
- **Physical Channel**: `SC1Mod3/ai0`

- **Name**: `Temperature1`

Произведите следующие настройки для второго канала:

- **Measurement Type**: `Analog Input`
- **Sensor Type**: `Voltage`
- **Physical Channel**: `SC1Mod3/ai1`
- **Name**: `Temperature2`

8. Вызовите контекстное меню раздела **Data Neighborhood** и выберите в нем **Create New»NI-DAQmx Task**. Произведите следующие настройки:

- **Measurement Type**: `Analog Input`
- **Sensor Type**: `Voltage`
- **Channels**: Выберите опцию **Add Existing DAQmx Global Channels** и далее выберите `Temperature1` и `Temperature2`.
- **Name**: `SmallVoltageTask`

9. В диалоговом окне **Analog Input Voltage Task Configuration** настройте задачу на непрерывный сбор данных.

10. Нажмите кнопку **Start**.

11. Используйте палец или стакан холодной воды для проверки термопары и определения адекватности изменений напряжения. Если никаких изменений не происходит или появилось сообщение об ошибке, сообщите об этом инструктору.

12. Нажмите кнопку **Stop**.

13. Нажмите кнопку **OK** для выхода из панели тестирования.

14. Нажмите кнопку **Save Task**.

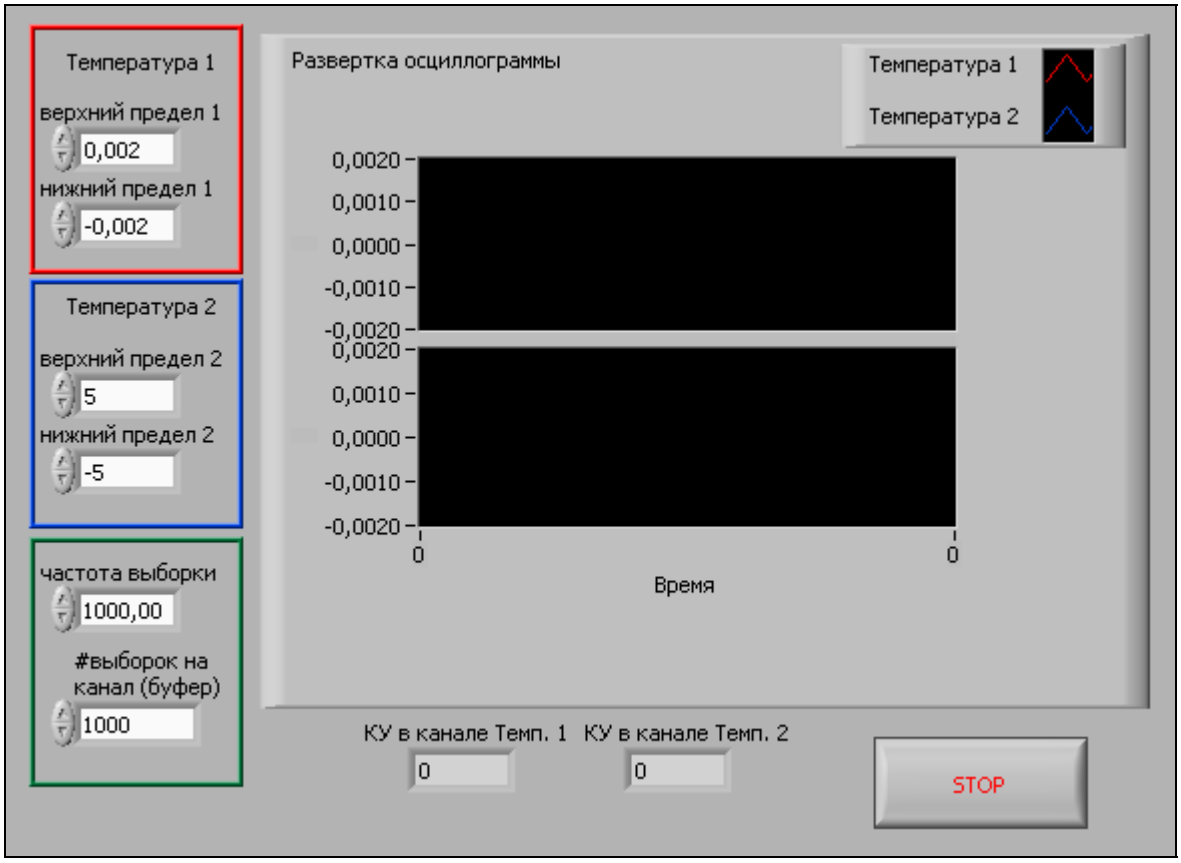
15. Выйдете из MAX. Сохраните все несохраненные до этого каналы NI-DAQmx.

Установка коэффициента усиления в LabVIEW

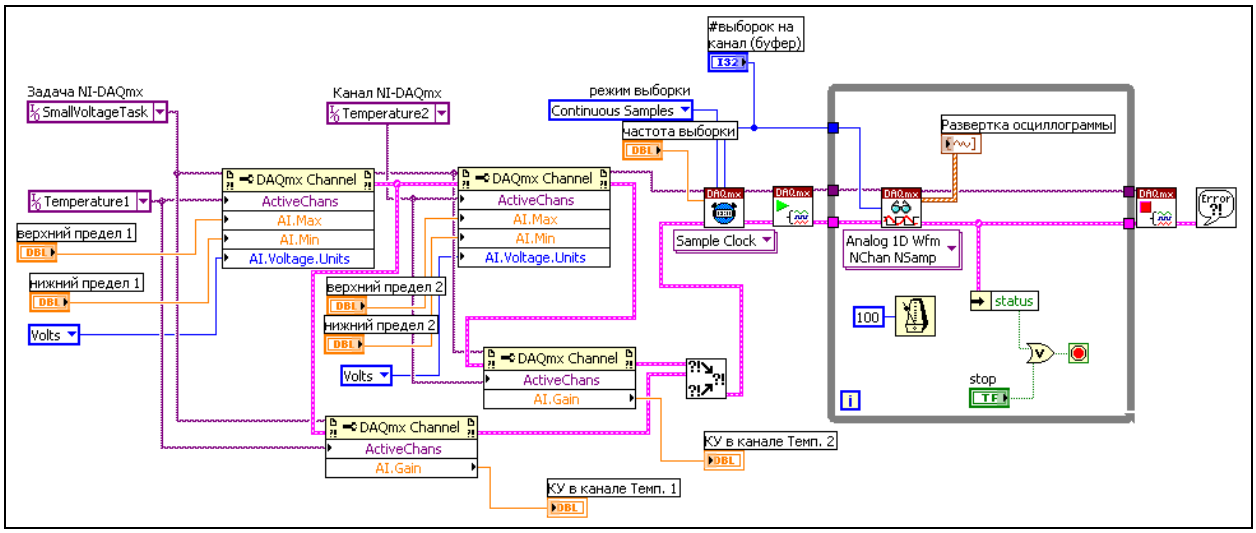
Завершите создание ВП, снимающего данные с термопары, которую вы присоединили к SCXI-1125/SCXI-1327. Этот ВП демонстрирует программное управление КУ каждого из каналов, путем подстройки диапазона изменения сигнала (верхнего и нижнего пределов) в LabVIEW. Кроме этого, ВП покажет в сравнении преимущества использования усиления при получении слабых сигналов, таких как напряжение в несколько милливольт, генерируемое термопарой.

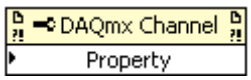
1. Запустите LabVIEW и откройте ВП SCXI-1125 Gain vs No Gain, расположенный в

директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`. Возникнет следующая лицевая панель.



2. Измените блок-диаграмму как показано на следующем рисунке.





a. Поместите узел свойств DAQmx Channel Property Node, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот узел свойств считывает и/или записывает свойства, принадлежащие определенному DAQmx каналу, заданному свойством ActiveChans. Используйте четыре таких узла для установки входных пределов и считывания настроек усиления.

b. Поместите ВП DAQmx Timing, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data**

Acquisition, на блок-диаграмму. Этот ВП настраивает частоту выборки (rate) и режим выборки (sample mode). Щелкните правой кнопкой мыши на вводе **sample mode** и выберите **Create»Constant** из контекстного меню.

c. Поместите ВП Merge Errors, расположенный в палитре **Functions»All Functions»Time & Dialog**, на блок-диаграмму. Этот ВП объединяет несколько кластеров ошибок в один.

d. Поместите ВП DAQmx Start Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП запускает выполнение задачи.

e. Поместите ВП DAQmx Read, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот полиморфный ВП считывает выборки данных. Выберите из выпадающего меню конфигуратора этого ВП опции **Analog»Multiple Channels»Multiple Samples»1D Waveform**.

f. Поместите ВП DAQmx Stop Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП останавливает выполнение задачи.

g. Поместите ВП Simple Error Handler, расположенный в палитре **Functions»All Functions»Time & Dialog**, на блок-диаграмму. В случае возникновения ошибки этот ВП вызовет диалоговое окно с информацией об ошибке и месте ее возникновения.

h. Поместите функцию Wait until Next ms Multiple, расположенную в палитре **Functions»All Functions»Time & Dialog**, на блок-диаграмму. Эта функция делает паузу на время, кратное целому числу, умноженному на значение ввода в единицах миллисекунд, и управляет скоростью выполнения цикла по условию. Установите значение ввода равным `100`.

i. Поместите функцию Or, расположенную в палитре **Functions»Arithmetic & Comparison»Express Boolean**, на блок-диаграмму.

j. Поместите функцию Unbundle by Name, расположенную в палитре **Functions»All Functions»Cluster**, на блок-диаграмму. Эта функция возвращает логическое значение статуса ошибки **status**. При возникновении ошибки выполнение цикла будет остановлено.

3. Сохраните ВП.

4. На лицевой панели установите следующие значения для элементов управления:

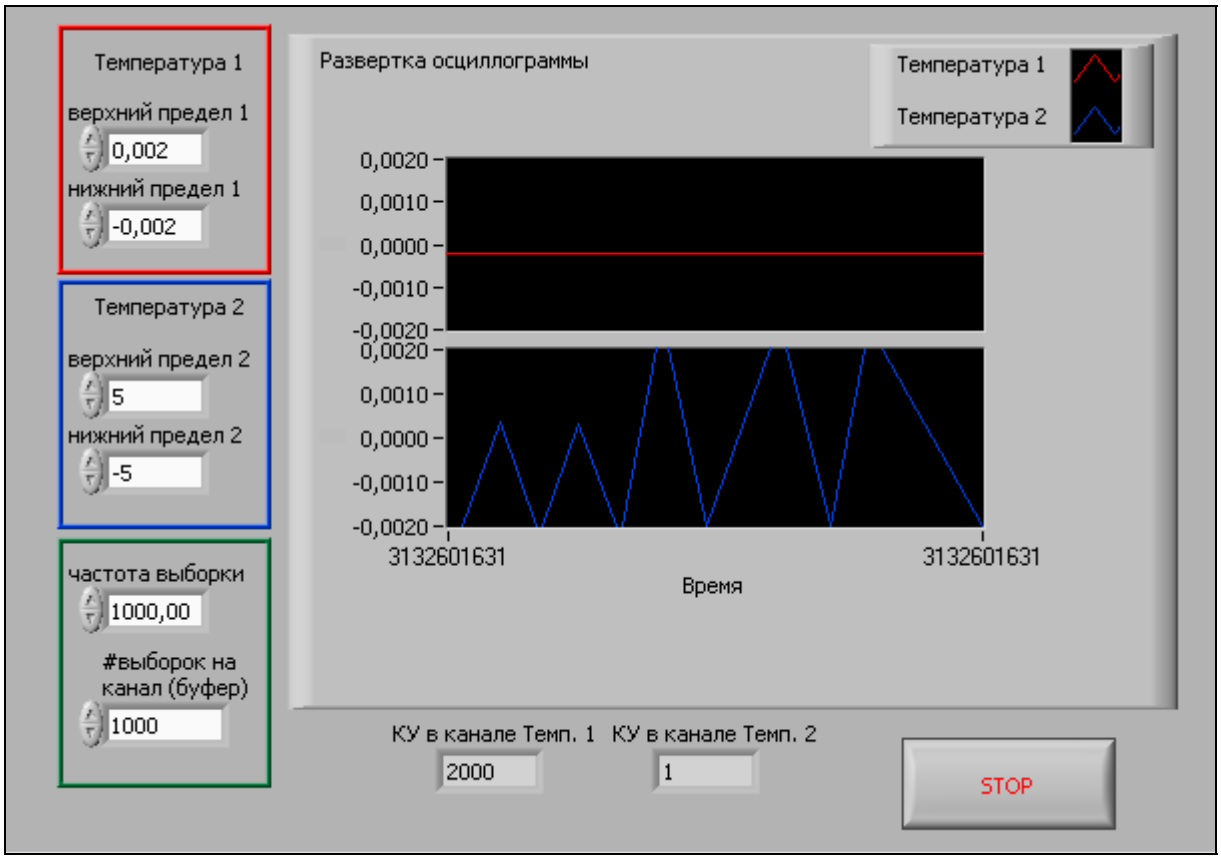
- **частота выборки**: `1000`
- **#выборок на канал (буфер)**: `1000`
- **Верхний и нижний пределы**:
- **–Температура 1**:
  Верхний предел: `0.00200`

Нижний предел: `-0.00200`

- –**Температура 2**:
  Верхний предел: `5.00000`
  Нижний предел: `-5.00000`

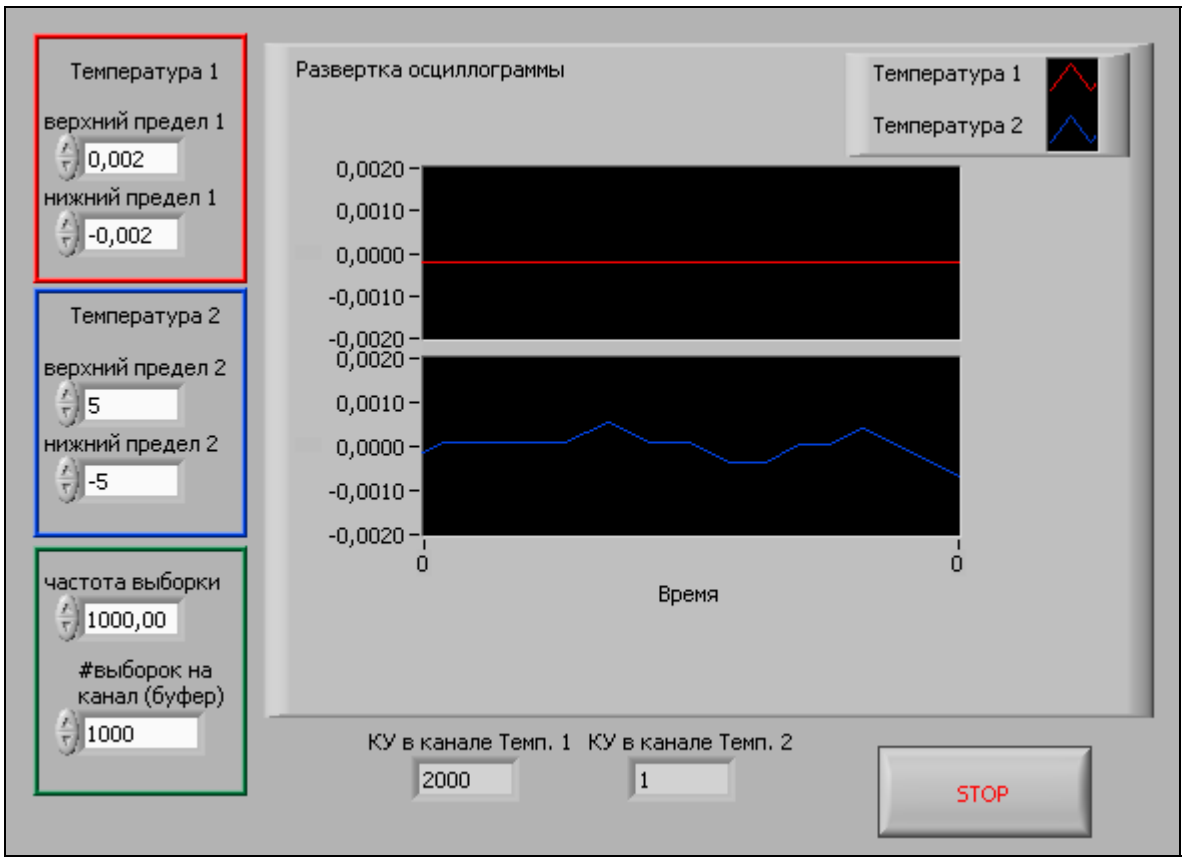
5. Запустите ВП.

6. Обратите внимание на настройки усиления двух каналов. Дотроньтесь пальцем о термопары и посмотрите на разницу в показаниях двух каналов на развертке осциллограмм. Это можно видеть на следующем рисунке.



7. Остановите ВП. Измените значение **Верхний предел** датчика **Температура 2** на `1.00000`, а **Нижний предел** тоже датчика **Температура 2** на `-1.00000`. Снова запустите ВП.

8. Снова дотроньтесь до термопары и обратите особое внимание на диапазон изменения сигнала в канале CH 1. Теперь вы не сможете точно определить разность напряжений между двумя уровнями. Эта ситуация показана на следующем рисунке.



Вы не сможете точно определить разность напряжений между двумя уровнями из-за шага дискретизации – наименьшего изменения сигнала, которое может зафиксировать система. Диапазон в 2 вольта (–1.00 В до 1.00 В) делится на произведение усиления (5.00) и разрешающей способности (212), что приводит к шагу дискретизации в 0.097 мВ.

9. Обратите внимание на измененные настройки КУ для канала **Температура 2**. Поэкспериментируйте с ВП, останавливая его и изменяя значения верхних и нижних пределов, и посмотрите, как это влияет на КУ и принимаемые сигналы.

10. Сохраните и закройте ВП после окончания работы.

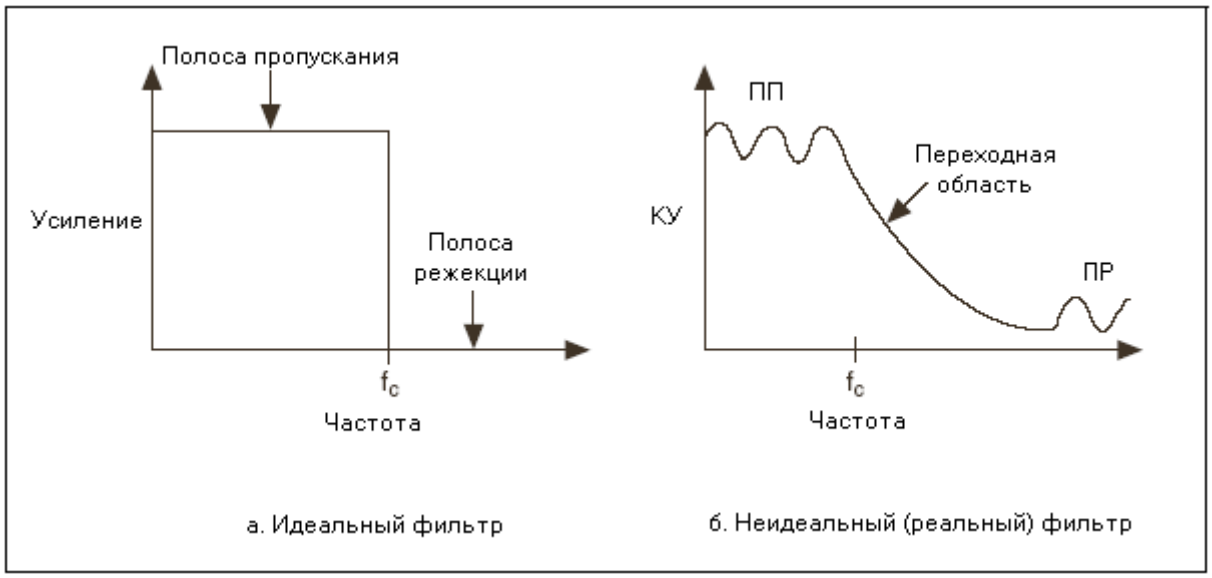
Конец упражнения 5-2

D. Фильтрация

Системы согласования сигналов могут включать фильтры для удаления нежелательных помех в определенном частотном диапазоне. Практически все приложения по сбору данных подвержены влиянию помех на частоте 50 Гц, которые наводятся линиями питания и оборудованием. Поэтому большинство систем согласования сигналов содержат фильтры нижних частот (ФНЧ), спроектированных специально для удаления помех на частоте 50 Гц. Например, модуль SCXI-1125 содержит ФНЧ с полосой пропускания 4 Гц, так что подавление шума на частоте 50 Гц осуществляется с наибольшей эффективностью (- 90 дБ).

Фильтры в основном делятся на пять категорий: фильтр нижних частот, фильтр верхних частот, полосовой фильтр, заграждающий фильтр и фазовый фильтр. Эта классификация возникла по частотному диапазону (или полосе) сигналов, которые фильтр пропускает без ослабления. Поскольку большинство модулей согласования сигналов компании National Instruments используют ФНЧ, в данном разделе основное внимание сфокусировано на ФНЧ.

Идеальный ФНЧ не ослабляет компонент сигнала с частотами в полосе пропускания (ПП), которая определяется как частотный диапазон ниже частоты среза. Зато полностью подавляет все частотные компоненты в полосе режекции, которая имеет частотный диапазон выше частоты среза. Фазовый сдвиг идеального ФНЧ имеет линейную зависимость от частоты. Линейность фазы означает, что все частотные компоненты сигнала будут иметь одинаковую постоянную временную задержку, что не приведет к искажению формы сигнала. Реальные фильтры действуют на сигнал подобно математическому умножению его на передаточную функцию, приближенно совпадающую с характеристиками идеального фильтра. На следующей иллюстрации приведено сравнение ослабляющих свойств передаточных функций реального и идеального фильтров.



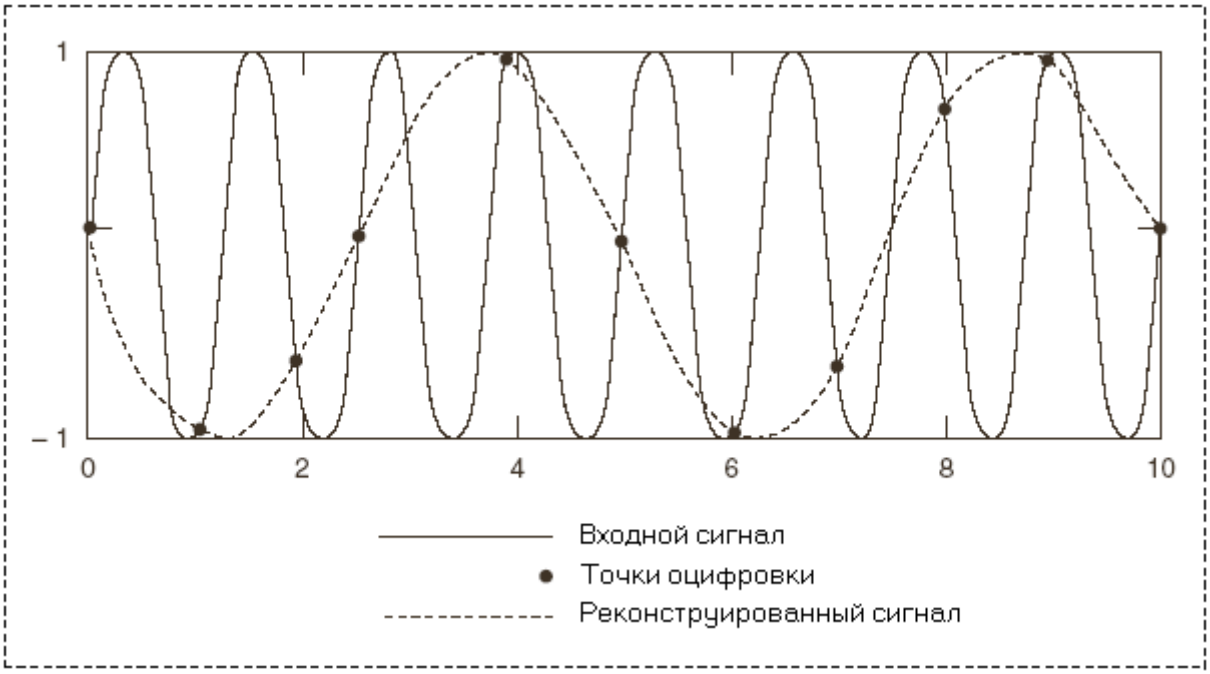
Как видно из рисунка, реальный фильтр имеет волнистость (неравномерность ослабления в зависимости от частоты) в полосе пропускания, переходную область между полосами пропускания и режекции, и полосу режекции с конечным ослаблением и волнистостью.

Кроме этого, реальные фильтры имеют некоторую нелинейность фазово-частотной характеристики (ФЧХ), что означает большую задержку более высокочастотных компонент по сравнению с низкочастотными компонентами. В результате появятся искажения формы сигнала. Это явление можно наблюдать, если пропустить прямоугольный сигнал или сигнал в виде ступеньки через ФНЧ. Идеальный фильтр сгладит фронты сигнала. Реальный фильтр вызовет переходные процессы в сигнале из-за большей задержки высокочастотных компонент. Следующая иллюстрация показывает примеры откликов ФНЧ на ступенчатый сигнал.

Фильтры защиты от наложения спектров

Другим распространенным пример использования фильтров является защита от наложения спектров – явления, которое возникает при недостаточной частоте выборки. Теорема Найквиста утверждает, что, когда вы оцифровываете аналоговый сигнал, то компоненты сигнала с частотами, превышающими половину частоты выборки, появятся в оцифрованных данных в виде низкочастотных компонент. Этого искажения сигнала можно избежать, если перед оцифровкой убрать из него при помощи ФНЧ те компоненты, частота которых превышает половину частоты выборки.

Следующий рисунок показывает синусоидальный сигнал, оцифрованный в выделенных точках. Когда эти точки используется для восстановления осциллограммы, сигнал выглядит так, как будто имеет частоту меньше исходной.

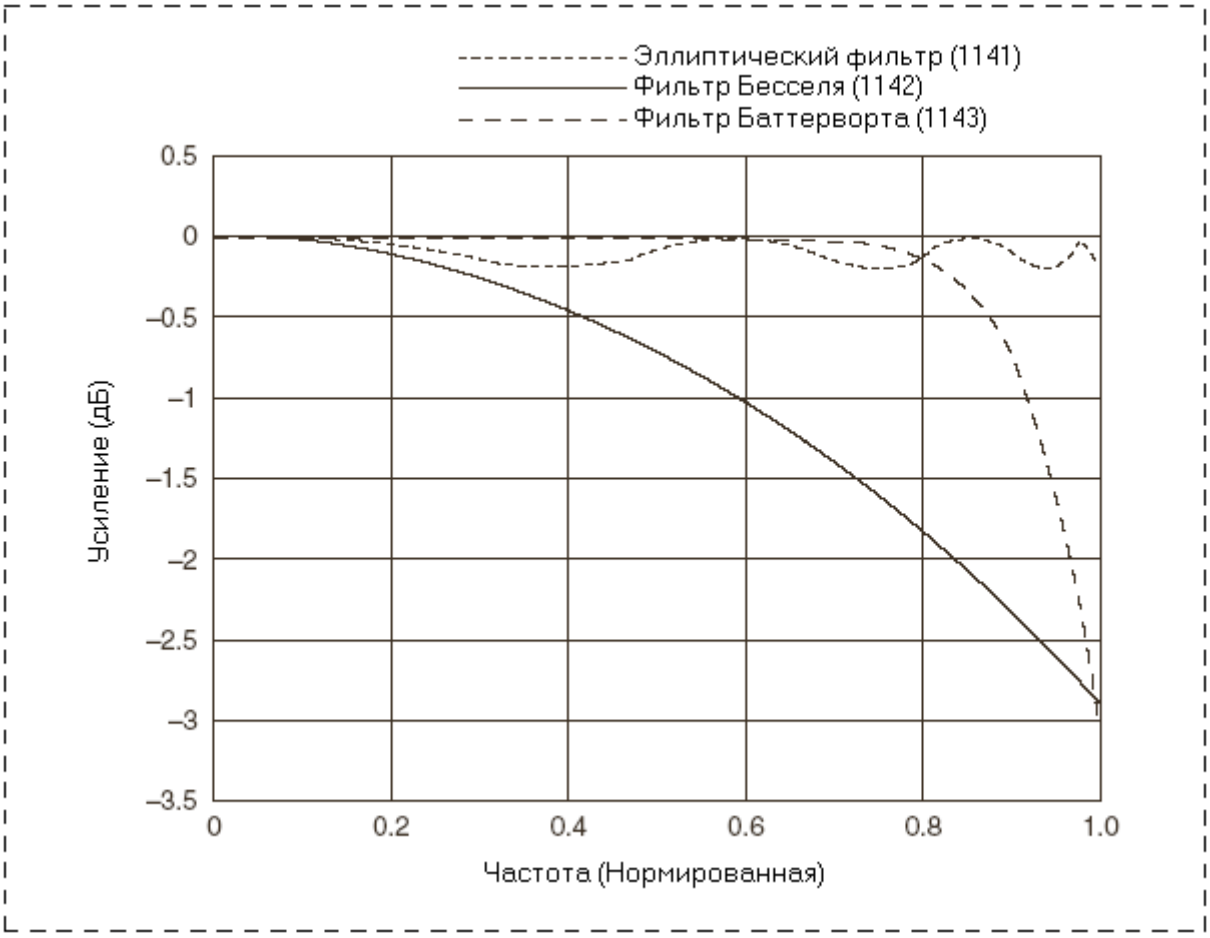


Вы можете увеличить частоту дискретизации либо пропустить сигнал через ФНЧ для удаления высокочастотных компонент. Увеличение частоты выборки может привести к дополнительным затратам и часто нецелесообразно, особенно когда верхний предел полосы высокочастотного шума сильно превышает полосу интересующего сигнала. Поэтому, обычно на практике используют ФВЧ для удаления всех частотных компонент, превышающих частоту Найквиста.

Предотвратить наложение спектров могут только аналоговые фильтры. Цифровые фильтры не годятся для этого, поскольку невозможно избежать наложения спектров, когда сигнал уже был оцифрован.

Обычно программируемый аналоговый фильтр используется как предварительный формирователь сигналов для оцифровывающих устройств, таких как УСД или модули. Аналоговые фильтры имеют стандартные передаточные функции, обеспечивающие компромисс характеристик реальных фильтров, таких как крутизна спада, волнистость в ПП и линейность фазы. Следующие фильтры имеют стандартные передаточные функции: Баттерворта, Чебышева, Бесселя и эллиптический. Например, фильтры Баттерворта имеют очень ровную амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) в ПП, зато фильтр Чебышева обеспечивает очень сильное ослабление, но имеет недостаток в излишней волнистости АЧХ в ПП. Фильтр Бесселя обладает линейной ФЧХ во всей ПП, что минимизирует искажения формы сигнала, но демонстрирует менее крутой спад характеристики и, как следствие, более слабое подавление сигнала в полосе режекции. Эллиптический фильтр Кауэра с чрезвычайно резким спадом в переходной области весьма полезен в качестве фильтра защиты от наложения спектров для многоканальных оцифровывающих DAQ систем. Однако сильная нелинейность ФЧХ делает его более подходящим для приложений, выполняющих анализ частотного содержимого сигнала, а не его фазового состава или формы сигнала.

Следующий рисунок демонстрирует передаточные функции трех модулей согласования сигналов, используемых компанией National Instruments. Эллиптический фильтр с очень резкой переходной областью особенно полезен в качестве фильтра защиты от наложения спектров в многоканальных системах сбора данных.

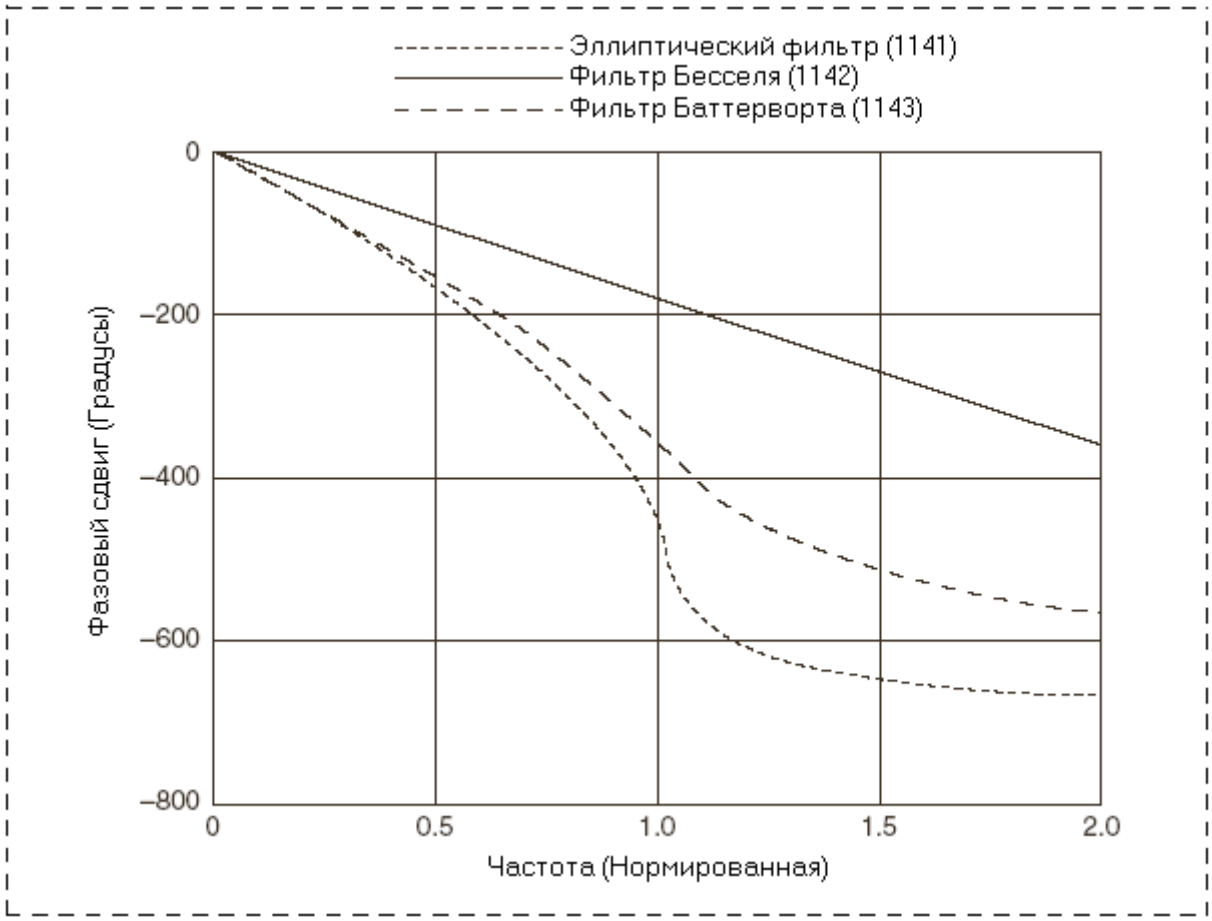


Прекрасное подавление фильтром сигналов с частотой, превышающей частоту среза, доказывают выгодность его использования в качестве фильтра защиты от наложения спектров. Из-за резкого спада АЧХ фильтра вы можете оцифровывать сигнал с более низкой частотой выборки. Например, рассмотрим 16-ти канальное приложение для сигналов с полосой частот 10 кГц. Здесь все же требуются фильтры защиты от наложения спектров, чтобы избежать искажения сигналов нежелательными помехами/шумом с частотами больше 10 кГц. Используя, например, модуль SCXI-1141, представляющий собой набор эллиптических фильтров восьмого порядка, вы можете запрограммировать частоту среза для 16 каналов равной 10 кГц. В этом случае ослабление фильтрами на частоте 15 кГц достигнет 80 дБ. Следовательно, частоту выборки УСД можно безопасно установить равной удвоенной частоте 15 кГц, то есть 30000 выборок в секунду. Поскольку все 16 каналов оцифровываются одним УСД, его необходимо запрограммировать на суммарную частоту выборки, равную 480000 выборок в секунду.

При использовании других типов фильтров с менее резким спадом АЧХ в переходной области DAQ устройству необходимо оцифровывать с большей частотой выборки. Например, типичный фильтр Баттерворта восьмого порядка, запрограммированный на частоту среза 10 кГц, достигает подавления в 80 дБ на частоте 30 кГц. Частоту выборки УСД, использующего такой фильтр, необходимо установить равной 60000 выборок в секунду на канал, то есть 960000 выб/с в сумме. Более высокая частота выборки требует более дорогостоящего УСД (или меньшего числа каналов УСД) и большей емкости устройства хранения данных. Следовательно, более резкая переходная область эллиптического фильтра снижает требования к АЦП, позволяя уменьшить частоты выборки и объем сохраняемых данных.

Однако эллиптический фильтр имеет сильную нелинейность ФЧХ, как показано на

следующем рисунке. Эта нелинейность ФЧХ фильтра делает его более полезным в приложениях, включающих анализ частотного содержимого, но не фазовых составляющих или формы сигнала.



При выборе фильтра для сбора данных рассмотрите обе характеристики фильтра – АЧХ и ФЧХ, особенно в тех приложениях, где нельзя допустить потери информации в сигнале из-за его фильтрации.

Традиционные аналоговые фильтры обычно построены на основе операционных усилителей, резисторов и конденсаторов. Однако для создания перестраиваемых фильтров защиты от наложения спектра обычно используется технология переключаемых конденсаторов. Более того, переключаемый конденсатор заменил резистор во многих традиционных схемах аналоговых фильтров. Поскольку импеданс переключаемого конденсатора является функцией частоты сигнала переключения, частоту среза такого фильтра можно менять, изменяя частоту тактового сигнала, управляющего переключением. Кроме этого, фильтры, состоящие из операционных усилителей и переключаемых конденсаторов, более легки в производстве.

Однако фильтры на основе переключаемых конденсаторов имеют потенциальные недостатки. Использование фильтров только такого типа приводит к излишнему зашумлению сигнала в модулях согласования. Поэтому в модулях согласования компании NI используется уникальная смешанная схема, состоящая из фильтров на основе переключаемых конденсаторов и фильтров, выполняющих операции непрерывно, (фильтры непрерывного времени), что позволяет объединить технологические и эксплуатационные преимущества обоих. Основные компоненты на этапе фильтрации процесса согласования сигналов в модулях NI состоят из фильтра, выполняющего

операции в дискретные моменты времени (фильтр дискретного времени) на основе переключаемых конденсаторов, программируемого аналогового входного фильтра непрерывного времени и программируемого аналогового выходного фильтра также непрерывного времени.

- **Фильтр дискретного времени на основе переключаемых конденсаторов** – Частотой среза легко управлять, изменяя частоту входного тактирующего сигнала.

- **Программируемый входной аналоговый фильтр непрерывного времени** – Фильтры на основе переключаемых конденсаторов – это цифровые устройства и подвержены влиянию эффекта наложения спектров. Поэтому аналоговый входной фильтр ослабляет все частотные компоненты, лежащие за пределом частоты Найквиста сигнала переключения.

- **Программируемый выходной аналоговый фильтр непрерывного времени** – Выходной сигнал фильтра на основе переключаемых конденсаторов – ступенчатое представление аналогового сигнала – реконструируется с помощью выходного аналогового фильтра. Этот фильтр также удаляет прошедший напрямую шум высокочастотного генератора, управляющего фильтром на основе переключаемых конденсаторов.

Упражнение 5-3. Использование аппаратных фильтров для защиты от наложения спектров

Задача: Использовать аппаратный фильтр в качестве фильтра защиты от наложения спектров.

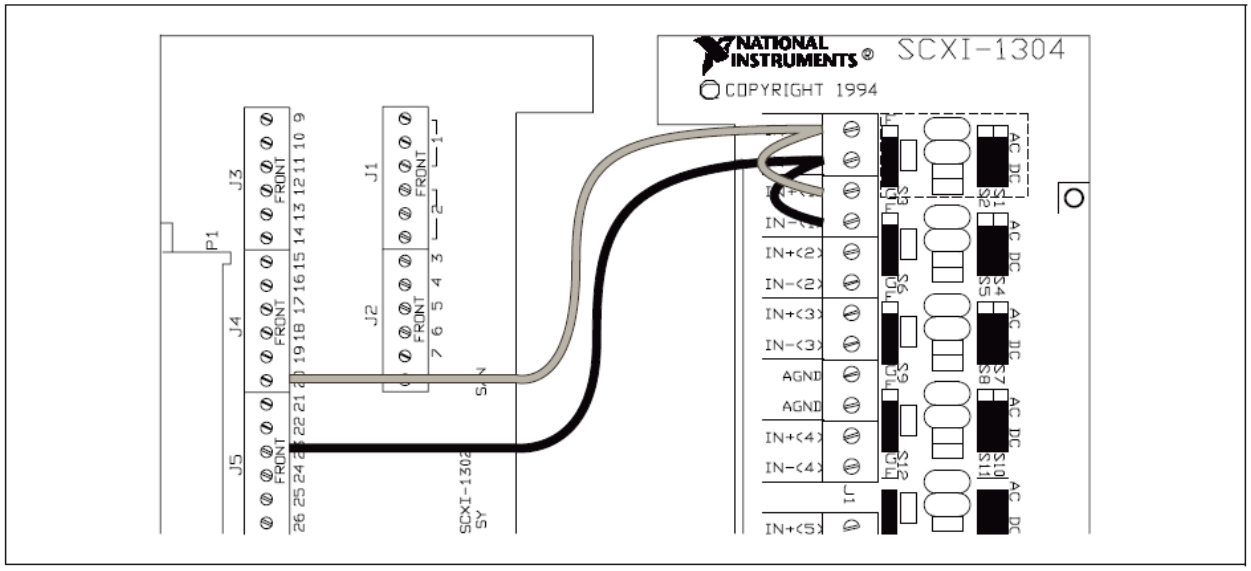
В данном упражнении вы будете программно управлять настройками модуля ФНЧ SCXI-1141 из LabVIEW и увидите преимущества использования аппаратной фильтрации для защиты от наложения спектра входного сигнала.

Присоединение аналогового вывода УСД

Предупреждение. Модули SCXI нельзя переставлять при включенном шасси. Перед удалением или добавлением модулей, терминальных узлов или кабелей убедитесь, что шасси обесточено.

1. Удалите защитные крышки с терминальных узлов SCXI-1302 и SCXI-1304.

2. Убедитесь, что провода имеют достаточную длину, чтобы соединить SCXI-1302 и SCXI-1304 и сделать подключения, как показано на следующем рисунке.



a. Найдите в SCXI-1304 парные переключатели постоянного/переменного сигнала [S1/S2 для IN (0) и S4/S5 для IN (1)] и убедитесь, что они установлены для прохождения постоянного сигнала, как показано на предыдущем рисунке.

b. Найдите в SCXI-1304 переключатели типа источника сигнала плавающий/заземленный [S3 для IN (0) и S6 для IN (1)] и убедитесь, что они настроены для подключения заземленного источника, как показано на предыдущем рисунке.

c. Присоедините провод от контакта 20 с винтовым креплением узла SCXI-1302 (контакт 22 DAC0OUT УСД) к контакту IN +(0) узла SCXI-1304.

d. Присоедините небольшой кусок провода от IN +(0) к IN +(1) узла SCXI-1304.

e. Присоедините провод от контакта 23 с винтовым креплением узла SCXI-1302 (контакт 55 AOGND УСД) к IN –(0) узла SCXI-1304.

f. Присоедините небольшой кусок провода от IN –(0) к IN –(1) узла SCXI-1304.

3. Верните защитные крышки на соответствующие узлы.

4. Присоедините SCXI-1302 к панели сквозного соединения SCXI-1180.

5. Присоедините SCXI-1304 к модулю ФНЧ SCXI-1141.

6. Включите инструментальное шасси.

7. Возвратитесь в MAX. Вызовите контекстное меню УСД во вкладке **NI-DAQmx Devices** и выберите в нем опцию **Test Panels**.

8. Выберите вкладку **Analog Output** и сделайте следующие настройки:

- **Channel Name**: `Dev X/ao0`
- **Output Mode**: `Sine Generation`
- **Update Rate**: `1000.0`
- **Transfer Mechanism**: `DMA`
- **Output Voltage/Amplitude**: `5.00`

Нажмите кнопку **Start**.

9. Выберите вкладку **Analog Input** и произведите следующие настройки:

- **Channel Name**: `SC1Mod4/ai0`
- **Acquisition Mode**: `Continuous`
- **Max Input Limit**: `5.00`
- **Min Input Limit**: `-5.00`

10. Нажмите кнопку **Start**. Вы должны увидеть синусоидальный сигнал.

11. Измените **Channel Name** для считывания сигнала в канале 1 модуля SCXI-1141. Вы должны увидеть тот же синусоидальный сигнал, что и в канале 0.

Настройка MAX

1. Создайте два новых канала NI-DAQmx для проверенных физических каналов SCXI-1141. Назовите их `FilterChannel1` и `FilterChannel2`.

Для каждого из каналов выберите вкладку **Device** и далее **Lowpass Filter Enable**, и

установите частоту среза, равной `10000`.

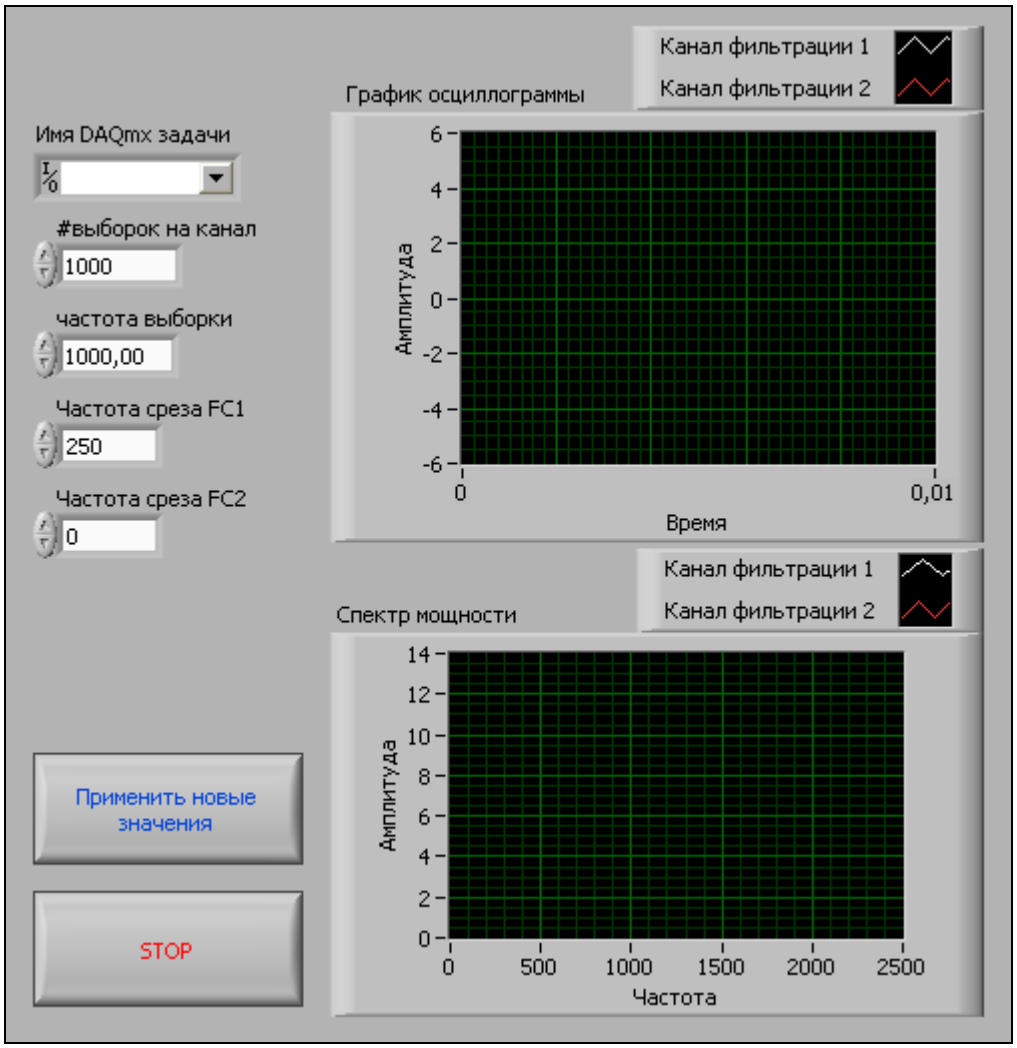
2. Добавьте FilterChannel1 и FilterChannel2 в новую задачу с названием `FilterTask`.

3. Сохраните задачу.

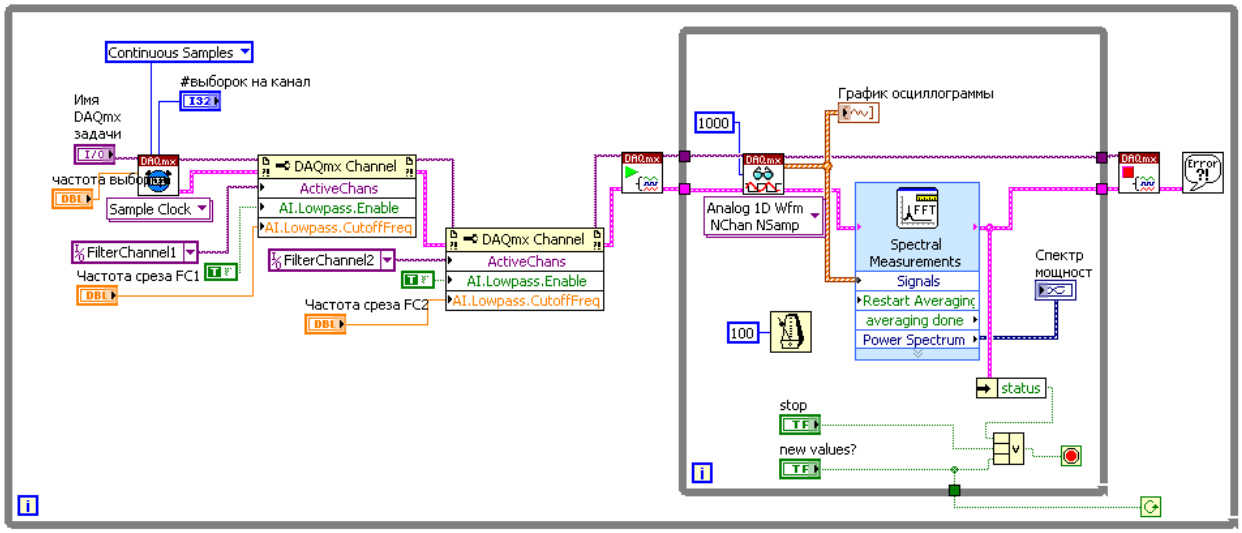
Программная настройка параметров SCXI фильтра в LabVIEW

Завершите создание ВП, получающего синусоидальный сигнал, сгенерированный УСД с использованием модуля ФНЧ SCXI-1141. Этот ВП демонстрирует программное управление параметрами фильтров модуля SCXI-1141 и предотвращение эффекта наложения спектров входного сигнала с использованием аппаратной фильтрации.

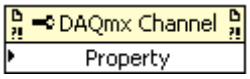
1. Запустите LabVIEW и откройте ВП SCXI-1141 Hardware Filtering, расположенный в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`. Должна появиться следующая лицевая панель.



2. Завершите построение блок-диаграммы в соответствии со следующим рисунком.



a. Поместите ВП DAQmx Timing, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП настраивает частоту выборки (rate) и режим выборки (sample mode). Щелкните правой кнопкой мыши на вводе **sample mode** и выберите **Create»Constant** из контекстного меню.



b. Поместите узел свойств DAQmx Channel Property Node, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Используйте этот узел для включения низкочастотной фильтрации и установления частоты среза.

c. Поместите ВП DAQmx Start Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП запускает выполнение задачи.

d. Поместите ВП DAQmx Read, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Используйте этот полиморфный ВП для считывания выборок данных. Выберите из выпадающего меню конфигуратора этого ВП опции **Analog»Multiple Channels»Multiple Samples»1D Waveform**.

e. Поместите экспресс-ВП Spectral Measurements, расположенный в палитре **Functions»Signal Analysis palette**, на блок-диаграмму. Этот экспресс-ВП настраивает параметры спектрального анализа сигнала. В появившемся диалоговом окне **Configure Spectral Measurements** выполните следующие настройки:

(1) Установите тип измерения **Spectral Measurement** в **Power Spectrum**, а результат исследования **Result** в режим **Linear**.
(2) Выберите **Hanning** из выпадающего меню **Window** и поставьте отметку в поле усреднения **Averaging**.
(3) Настройки усреднения оставьте по умолчанию.
(4) Нажмите кнопку **OK** для выхода из диалогового окна.

Присоедините выход **Power Spectrum** к графику Power Spectrum Graph для отображения частоты входного сигнала и влияния наложения спектров.

f. Поместите ВП DAQmx Stop Task, расположенный в палитре

Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition, на блок-диаграмму. Этот ВП останавливает выполнение задачи.

g. Поместите функцию Wait until Next ms Multiple, расположенную в палитре **Functions»All Functions»Time & Dialog**, на блок-диаграмму. Эта функция управляет скоростью выполнения цикла по условию. Установите значение ввода равным `100`.

h. Поместите ВП Simple Error Handler, расположенный в палитре **Functions»All Functions»Time & Dialog**, на блок-диаграмму. В случае возникновения ошибки этот ВП вызовет диалоговое окно с информацией об ошибке и месте ее возникновения.

i. Поместите функцию Unbundle by Name, расположенную в палитре **Functions»All Functions»Cluster**, на блок-диаграмму. Эта функция возвращает логическое значение статуса ошибки **status**. При возникновении ошибки выполнение цикла будет остановлено.

j. Поместите функцию Compound Arithmetic, расположенную в палитре **Functions»Arithmetic & Comparison»Express Numeric**, на блок-диаграмму. Эта функция выполняет арифметические действия с несколькими числами, массивами, кластерами или логическими значениями. Соединительная панель этой полиморфной функции отображает тип данных по умолчанию. Вызовите контекстное меню этой функции и выберите **Change Mode»OR**. Эту функцию можно увеличить в размере, чтобы она вмещала большее число входов.

3. Сохраните ВП.

4. Переключитесь на лицевую панель и установите следующие значения для элементов управления:

- **#выборок на канал**: `100`
- **Частота выборки**: `10000.00`
- **Частота среза FC1**: `500`
- **Частота среза FC2**: `0` (Установка для фильтра значения 0 приведет его игнорированию в модуле SCXI-1141.)

5. Выберите **Help»Find Examples,** чтобы открыть поисковик примеров NI Example Finder. Просмотрите в режима поиска по задаче папки **Hardware Input and Output»DAQmx»Analog Generation»Voltage** и откройте ВП Cont Gen Voltage Wfm-Int Clk-Variable Rate. Запустите ВП и сгенерируйте синусоидальный сигнал с частотой 100 Гц в нулевом канале налогового вывода.

6. Запустите ВП SCXI-1141 Hardware Filtering.

7. Подстройте элемент управления **Analog Output Frequency** от 100 Гц до 5000 Гц и обратите внимание на изменение двух сигналов на графике ВП SCXI-1141 Hardware Filtering. Обратите также внимание на спадание сигнала в канале 0 в районе 500 Гц на графике Спектра мощности. При дальнейшем увеличении частоты синусоидального сигнала наблюдайте за поведением канала 1 на графике Спектра мощности и обратите внимание на считываемую частоту по сравнению с генерируемой.

8. Подстройте **Частоту среза FC1** до `2500.00` и нажмите **Применить новые значения**. Повторите шаг 7.

Примечание. Эффект, который вы сейчас видите, называется наложением спектров. При слишком низкой частоте выборки по сравнению с частотой Найквиста в оцифрованных данных появляется ложная низкочастотная компонента. Если наложение спектров произошло, то его уже не так просто убрать. Используя фильтр защиты от наложения спектров (в данном примере SCXI-1141) перед АЦП УСД, вы ограничиваете полосу частот входного сигнала, чтобы удовлетворить критерию Найквиста. Теорема Найквиста утверждает, что сигнал необходимо оцифровывать с частотой, вдвое превышающей частоту самой высокочастотной компоненты сигнала, для точного представления осциллограммы в частотной области. В противном случае, высокочастотное содержимое наложится на частоты в исследуемом диапазоне спектра.

9. Поэкспериментируйте с различными настройками частоты среза каналов 0 и 1 и затем нажмите **Применить новые значения** для введения новых настроек фильтра в модуль SCXI-1141.

10. Остановите и закройте оба ВП.

Конец упражнения 5-3

E. Изоляция

Неправильное заземление системы – один из наиболее частых случаев возникновения проблем с измерениями, помех и повреждения УСД. Системы согласования сигналов с электрической изоляцией могут предотвратить большинство этих проблем. Устройства такого типа бесконтактно передают сигнал от источника к измерительной системе, используя трансформаторы, оптические и емкостные развязки. Кроме разрыва паразитного контура с замыканием через землю, изоляция блокирует большие выбросы напряжения и отфильтровывает синфазное напряжение, защищая операторов и дорогостоящее измерительное оборудование.

Предположим, что вам необходимо отслеживать температуру при помощи термопары, припаянной к высоковольтной установке, излучающей сильные электромагнитные поля. Хотя выходное дифференциальное напряжение термопары не превышает 50 мВ, это напряжение может иметь высокий потенциал относительно заземления из-за емкостной связи установки и термопары. Потенциал между каждым из проводников дифференциального сигнала и заземлением называется синфазным напряжением. В идеале это напряжение должно полностью игнорироваться измерительной системой. Однако присоединение проводов от термопары непосредственно к неизолированному УСД, которое обычно рассчитано на синфазное напряжение 12 вольт, скорее всего, приведет к повреждению последнего. Вместо этого, вы можете присоединить провода от термопары к изолированному формирователю сигналов, который отфильтрует высокое синфазное напряжение и пропустит дифференциальный сигнал 50 мВ на измерительное устройство для точных измерений.

Технические требования к изоляции системы

Изготовители устройств выдвигают различные требования к электрической изоляции. Некоторые вводят только индекс (number) изоляции без описания, означает ли он уровень сигнала или уровень неустановившегося напряжения. Без этой информации и ясного понимания процесса ввода/вывода сигналов вы можете повредить измерительную систему и, возможно, подвергнуть оператора опасности поражения током. Ряд организаций, таких как Лаборатория по технике безопасности (Underwriters Laboratories – UL) и Международная электротехническая комиссия – МЭК (International Electrotechnical Commission – IEC) выработали технические требования безопасности при проектировании высоковольтных установок. Продукция, имеющая соответствующие знаки, проверена (в некоторых случаях, самими организациями) на соответствие техническим требованиям.

Кроме поиска на продукции знаков соответствия одной из этих организаций, существует другой способ определить класс изоляции системы согласования сигналов. Он заключается в выяснении двух ключевых характеристик – максимального допустимого напряжения и категории установки.

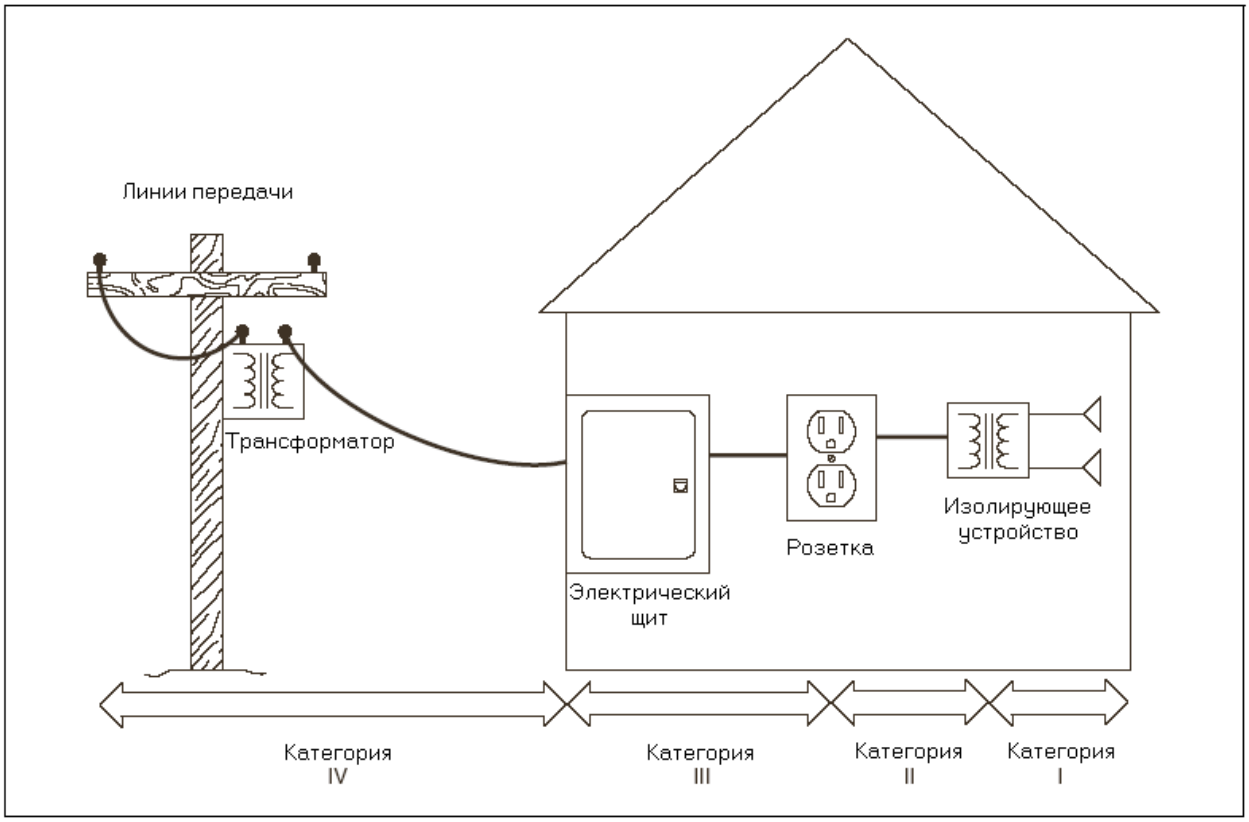
Максимальное допустимое напряжение

Это техническое требование описывает максимальное постоянное (не прекращающееся) напряжение, которое можно подавать на входы системы в нормальных условиях эксплуатации. Это требование выдвигается для сигнала относительно опорного потенциала заземления, то есть под него попадает и уровень сигнала, и любое синфазное напряжение, связанное с сигналом.

Категория установки

По определению, категория установки описывает местоположение, где вы можете использовать определенное измерительное устройство, основываясь при этом на величине возможных переходных сигналов (включая помехи) в этом месте. В более общем смысле, данное требование описывает возможные переходные процессы, которые сможет выдержать устройство.

Существуют четыре категории установки, как показано на следующем рисунке.



В зависимости от местонахождения электрической распределительной системы существует определенное количество колебаний до установления напряжения в системе. Чем ближе система к электростанции, тем колебания напряжения случаются реже. И наоборот, чем более распределена система передачи электроэнергии, тем колебания напряжения учащаются. Колебания уменьшают перенапряжения, присутствующие в системе. Чем ближе ваша система к источнику напряжения, тем больше амплитуда переходных процессов. В зависимости от местоположения измерительной системы необходимо применить определенные меры предосторожности для защиты системы от потенциально опасных перенапряжений в электрической распределительной системе. МЭК разработал следующие четыре категории для отдельных уровней электропотребления с различными величинами перенапряжений.

- Категория установки IV – Уровень распределения. Включает в себя такое оборудование, как генераторы, подстанции и трансформаторы.

- Категория установки III – Стационарные устройства. Включает в себя оборудование, постоянно присоединенное к распределительной сети, такое как кондиционеры воздуха и камины.

- Категория установки II – Оборудование, потребляющее электрическую энергию от стационарных систем. Например, дрели, телевизоры, радиоприемники и компьютеры.

- Категория установки I – Оборудование для присоединения к электрическим сетям, в которых перенапряжения при переходных процессах конструктивно ограничены достаточно небольшим уровнем. Оборудование I категории включает себя, например, низковольтные источники тока.

Электрическая изоляция обеспечивает безопасный барьер между пользователем и его оборудованием с одной стороны и высокими напряжениями и перенапряжениями при переходных процессах с другой. Устройство, обеспечивающее безопасную электрическую изоляцию, – это очень полезный элемент в вашей системе.

Все изолирующие SCXI модули компании National Instruments имеют двойную изоляцию для непрерывной работы с напряжением амплитудой 250 V_{rms}. Кроме этого, они протестированы и выдерживают напряжение на входе 2300 вольт в течение одной минуты, что позволяет не бояться перенапряжений при переходных процессах. Изолирующие SCXI модули выполнены в соответствии с требованиями IEC-1010 для второй категории установки. За большей информацией о категориях установки обращайтесь к публикациям МЭК.

- IEC 664-1 Координирующие требования установки оборудования в низковольтных системах.

- IEC 1010-1 – Требования безопасности электротехнического оборудования для систем измерений, управления и лабораторных установок.

F. Согласование сигналов с датчиков

Измерительные преобразователи (датчики) – это устройства, преобразующие физические явления, такие как температура, деформация, давление или свет, в электрические величины, такие как напряжение или сопротивление. Характеристики преобразователей определяют большинство требований системы сбора данных к согласованию сигнала.

G. Термопары

Одним из наиболее часто используемых преобразователей температуры является термопара (thermocouple). Термопары очень неприхотливы, дешевы и могут работать в широком диапазоне температур. Термопара образуется, когда соединяют вместе два разнородных металла, при этом точка контакта генерирует небольшое напряжение, являющееся функцией температуры. Это термоэлектрическое напряжение известно как напряжение Зеебека, названное в честь Томаса Зеебека (Thomas Seebeck), открывшего это явление в 1821 году. Напряжение нелинейно зависит от температуры. Однако, при малых изменениях температуры напряжение почти линейно:

$$\Delta V \approx S\Delta T$$

где ΔV – изменение напряжение, S – коэффициент Зеебека, а ΔT – изменение температуры.

Коэффициент S изменяется с температурой, что обуславливает нелинейность выходного напряжения термопар в пределах их рабочих диапазонов. Типы термопар обозначаются заглавными английскими буквами, которые характеризуют их состав в соответствии с соглашениями Национального Института Стандартизации США (ANSI). Например, термопара J-типа состоит из железного и константанового (сплав меди и никеля) проводников. Напряжения термопар можно отслеживать с помощью многофункциональных систем сбора данных, базирующихся в компьютере. Термопары имеют ряд специальных требований при согласовании их сигналов.

Схемы включения термопар

При измерении напряжения термопары вы не сможете просто присоединить ее к вольтметру или другой измерительной системе, поскольку провода, идущие от термопары к измерительной системе создают дополнительные термоэлектрические цепи.

Рассмотрим схему, показанную на рисунке 5-1, в которой термопара J-типа помещена в пламя свечи, температуру которого вы хотите измерить. Два провода термопары присоединены к медным проводникам УСД.

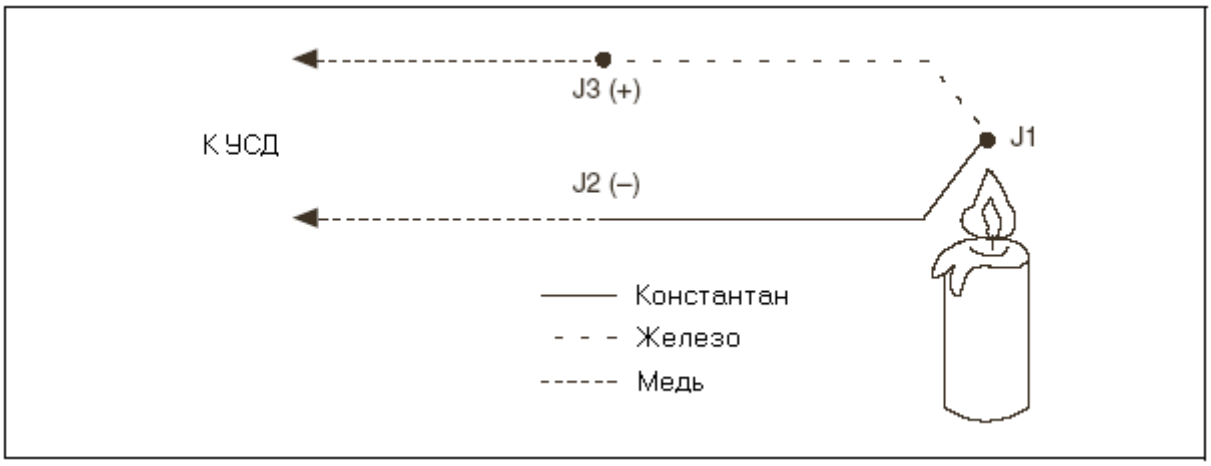


Рисунок 5-1. Термопара J-типа

Обратите внимание, что схема содержит три контакта различных металлов – J1, J2 и J3. J1 – контакт термопары генерирует напряжение, пропорциональное температуре в

пламени свечи. Контакты J2 и J3 имеют свой собственный коэффициент Зеебека и генерируют дополнительное термоэлектрическое напряжение, пропорциональное температуре терминалов УСД. Для определения вклада в напряжение контакта J1 необходимо знать температуры контактов J2 и J3 и соотношения напряжение-температура для этих контактов. Затем можно вычесть вклады паразитных термопар в контактах J2 и J3 из измеренного напряжения.

Компенсация холодного спая

Термопары требуют своего рода опорной температуры для компенсации паразитных термопар. Термин холодный спай (cold junction) пришел из распространенной практики выдерживания опорного контакта при температуре 0 °C в воде с тающим льдом. Справочные таблицы Национального института стандартов и технологий (NIST) были созданы при помощи установки, показанной на рисунке 5-2.

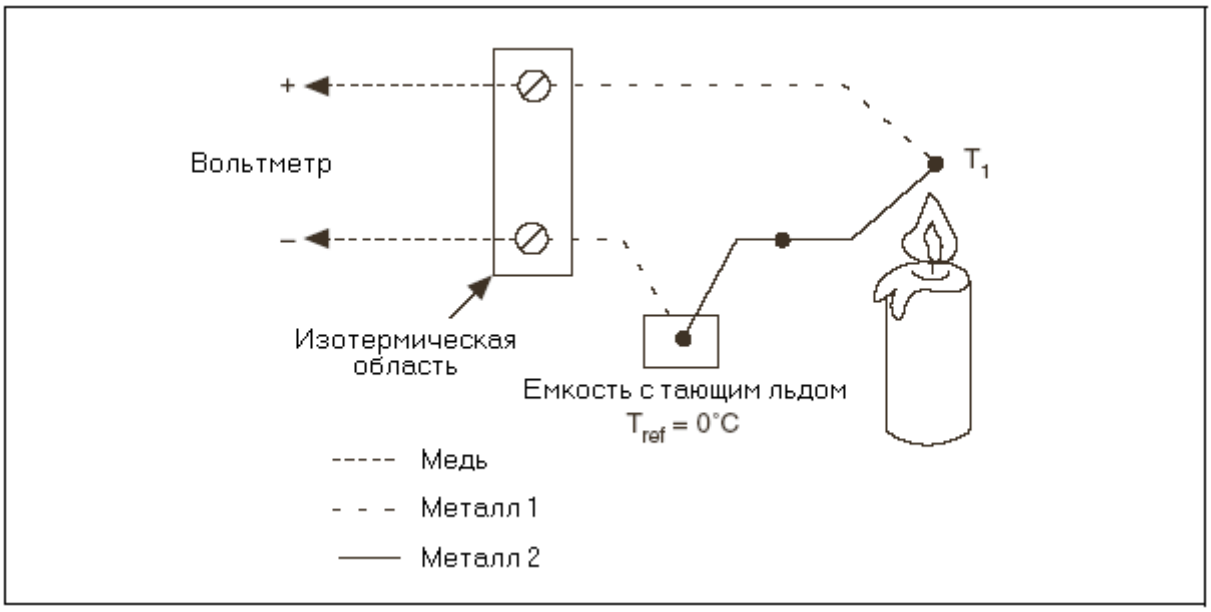


Рисунок 5-2. Обычное измерение температуры с опорным контактом, выдерживаемым при температуре 0 °C

На рисунке 5-2 измеренное напряжение зависит от разницы температур T_1 и T_{ref}. В данном случае T_{ref} равна 0 °C. Обратите внимание, что поскольку контакты подводящих проводов вольтметра находятся при той же температуре, то есть изотермичны, напряжения, генерируемые в этих двух точках равны по величине и противоположны по знаку. Поэтому результирующее напряжение, вносимое этими двумя контактами, равно нулю.

В этих условиях при измеряемой температуре больше 0 °C напряжение термопары будет положительным. Если измеряемая температура меньше 0 °C, то выходное напряжение термопары отрицательно. Когда опорный спай и измерительный контакт имеют одинаковую температуру, результирующее напряжение равно нулю.

Хотя использование ванночки с тающим льдом приводит к точному результату, ее не всегда удобно использовать. Более практичный прием заключается в измерении температуры холодного спая и непосредственном считывании напряжения с термопары, а затем в вычитании вкладов термоэлектрических напряжений паразитных термопар. Этот процесс называется компенсацией холодного спая (КХС). Можно легко вычислить КХС,

выгодно используя некоторые свойства термопар.

Используя уравнение для термопары с учетом промежуточных металлических проводников и делая некоторые простые предположения, можно видеть, что напряжение, измеряемое УСД в схеме, показанной на рисунке 5-1, зависит только от типа термопары, напряжения термопары и температуры холодного спая. Измеренное напряжение фактически не зависит от материала проводов и холодных спаев J2 и J3.

В соответствии с уравнением термопары с учетом промежуточных металлических проводников, показанных на рисунке 5-3, использование любого типа провода в схеме с термопарой не будет оказывать никакого влияния на выходное напряжение, если оба конца этого провода будут иметь одинаковую температуру.

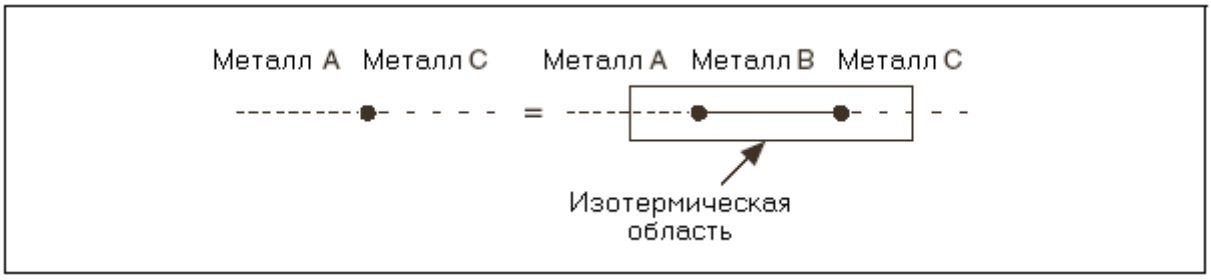


Рисунок 5-3. Уравнение термопары с учетом промежуточных металлических проводников

Рассмотрим схему, показанную на рисунке 5-4. Она похожа на предыдущую схему на рисунке 5-1 за исключением того, что небольшой отрезок константановой проволоки был вставлен непосредственно перед контактом J3, и предполагается, что его контакты имеют одинаковую температуру. Предполагая, что контакты J3 и J4 имеют также одинаковую температуру, то, используя уравнение термопары с учетом промежуточных металлических проводников, можно сделать вывод, что схема на рисунке 5-4 электрически эквивалентна схеме на рисунке 5-1. Следовательно, любой результат, полученный в схеме на рисунке 5-4, применим также к схеме на рисунке 5-1.

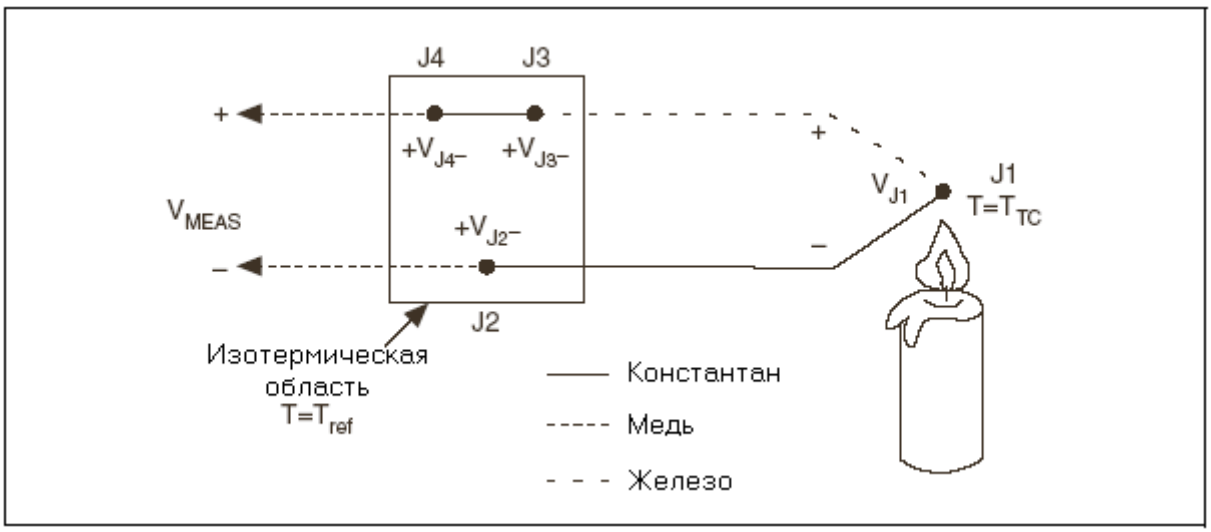


Рисунок 5-4. Вставка дополнительного проводника в изотермическую область

На рисунке 5-4 контакты J2 и J4 одного типа (медь-константан). Поскольку оба они находятся в изотермической области, то J2 и J4 имеют одну температуру. Однако эти

контакты включены в противоположных направлениях, следовательно, их суммарный вклад в измеренное напряжение равен нулю. Контакты J1 и J3 тоже одного типа (железо-константан) и также включены в противоположных направлениях, но могут иметь различные температуры. Поэтому, на полное измеренное напряжение могут влиять только напряжения контактов J1 и J3. Используя обозначение $V_{Jx}(T_y)$ для напряжения, сгенерированного контактом J*x* при температуре T_y, вся задача исследования термопары сводится к следующему уравнению:

$$V_{MEAS} = V_{J1}(T_{TC}) + V_{J3}(T_{ref}) \qquad (5\text{-}1)$$

где V_{MEAS} – напряжение, измеряемое УСД, T_{TC} – температура термопары J1, а T_{ref} – температура опорного контакта.

Обратите внимание, что в уравнении 5-1 $V_{Jx}(T_y)$ – это напряжение, сгенерированное при температуре T_y по отношению к некоторой опорной температуре. Пока напряжения V_{J1} и V_{J3} – функции температуры относительно одинаковой опорной температуры, уравнение 5-1 – верно. Как говорилось ранее, например, справочные таблицы термопар NIST получены при использовании опорного контакта с температурой 0 °C.

Поскольку контакт J3 того же типа, что и J1, но включен в противоположном направлении, то $V_{J3}(T_{ref}) = -V_{J1}(T_{ref})$. Так как V_{J1} – это напряжение, генерируемое исследуемой термопарой, это напряжение можно переименовать в V_{TC}. Следовательно, уравнение 5-1 может быть записано в следующем виде:

$$V_{MEAS} = V_{TC}(T_{TC}) + V_{TC}(T_{ref}) \qquad (5\text{-}2)$$

Поэтому, измеряя V_{MEAS} и T_{ref} и зная соотношение напряжение-температура для термопары, можно определить температуру термопары.

Методы, использующие компенсацию холодного спая, требуют, чтобы температуру опорного контакта можно было измерить непосредственно каким-либо датчиком. Датчик с непосредственным считыванием генерирует выходное напряжение, зависящее только от температуры в точке измерения. С этой целью обычно используются полупроводниковые датчики, термисторы или резистивные температурные детекторы. Например, ряд терминальных узлов SCXI содержит термисторы, расположенные вблизи клемм с винтовым креплением, к которым присоединяются проводники от термопар.

Примечание. NI-DAQ, NI LabVIEW и Measurement Studio содержат встроенные процедуры, программно выполняющие требуемую компенсацию.

Линеаризация данных

Выходное напряжение термопар сильно нелинейно. Коэффициент Зеебека для некоторых термопар может меняться в три и более раз при изменении температуры во всем рабочем диапазоне. По этой причине вы должны или аппроксимировать кривую зависимости напряжения от температуры полиномами или использовать следующую справочную таблицу. Аппроксимация полиномами выглядит следующим образом:

$$T = a_0 + a_1 v + a_2 v^2 + \ldots + a_n v^n \qquad (5\text{-}3)$$

где v – напряжение термопары в вольтах, T – температура в градусах Цельсия, a_0 – a_n – коэффициенты, индивидуальные для каждого типа термопар. Программное обеспечение NI может линеаризовать выходное напряжение различных термопар.

Таблица 5-1. Предельные значения выходных напряжений термопар (мВ)

Тип термопары	Проводник		Диапазон температур (°C)	Диапазон напряжений (мВ)	Коэффициент Зеебека (мкВ/°C)
	+	–			
E	Хромель	Константан	От -270 до 1000	От –9.835 до 76.358	58.70 при 0 °C
J	Железо	Константан	От -210 до 1200	От –8.096 до 69.536	50.37 при 0 °C
K	Хромель		От -270 до 1372	От –6.548 до 54.874	39.48 при 0 °C
T	Медь	Константан	От -270 до 400	От –6.258 до 20.869	38.74 при 0 °C
S	Платина - 10% Родий	Платина	От -50 до 1768	От –0.236 до 18.698	10.19 при 600 °C
R	Платина - 13% Родий	Платина	От -50 до 1768	От –0.226 до 21.108	10.35 при 600 °C

Упражнение 5-4. Считывание температуры

Задача: Произвести измерение температуры с использованием термопары.

В данном упражнении вы произведете считывание значения температуры, используя SCXI-1125 и LabVIEW.

Настройка модуля SCXI-1125 в MAX

1. Создайте NI-DAQmx канал для ввода сигнала с термопары. Используйте следующие настройки для этого канала:

- **Measurement Type**: `Analog Input`
- **Sensor Type**: `Temperature`
- **Temperature Type**: `Thermocouple`
- **Physical Channel**: `SC1Mod3/ai0`
- **Name**: `ThermoTemp`

2. В диалоговом окне **Analog Input Thermocouple Channel** выберите вкладку **Settings**. Установите входной диапазон от `0` до `100 °C`. Установите тип **Thermocouple Type** равным `J`. Источник опорной температуры холодного спая **CJC Source** установите встроенным `Built In`.

Примечание. Выбирая `Built-In` в качестве источника опорной температуры холодного спая, вы указываете MAX и NI-DAQ на использование термистора, встроенного в модуль SCXI-1327.

3. Выберите вкладку **Device** и установите частоту среза ФНЧ **Lowpass Filter Cutoff Frequency** равной `4 Гц`.

4. Нажмите кнопку **Test** для запуска панели тестирования.

5. Дотроньтесь пальцем до термопары для проверки ее работоспособности. Если никаких изменений не произошло или вы получили сообщение об ошибке, сообщите об этом инструктору. Если виртуальный канал работает, нажмите кнопку **OK** и выйдете из MAX.

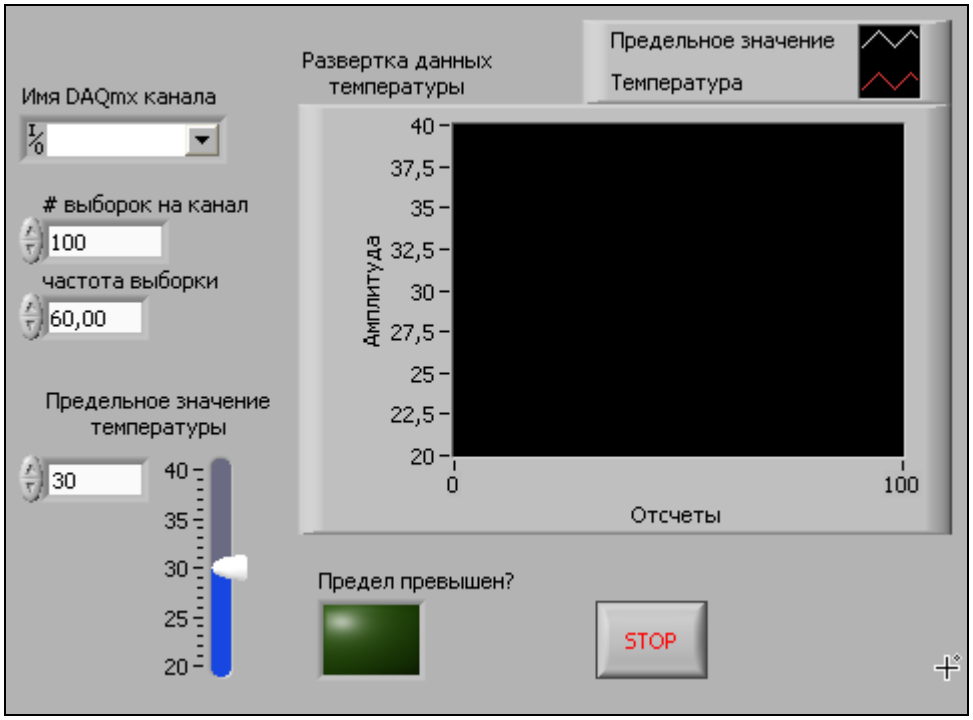
6. Нажмите кнопку **Yes** для сохранения канала.

Получение данных о температуре в LabVIEW

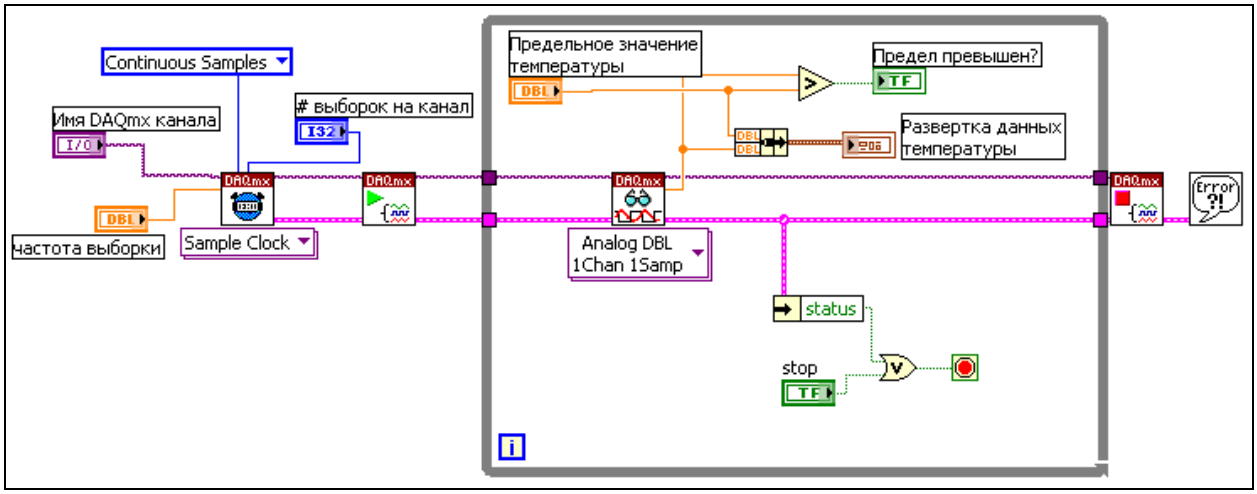
Завершите создание ВП для сбора данных о температуре с помощью термопары, присоединенной к SCXI-1125/SCXI-1327. Этот ВП захватывает полученные данные, сравнивает их с предельным значением, установленным пользователем, строит данные и предел на графике и активирует логический индикатор, если данные превышают допустимый предел.

1. Откройте ВП SCXI-1125 Temperature Reader, расположенный в директории

`C:\Exercises\LabVIEW DAQ`. Появится следующая лицевая панель.



2. Завершите построение следующей блок-диаграммы.



a. Поместите ВП DAQmx Timing, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП настраивает частоту выборки (rate) и режим выборки (sample mode). Щелкните правой кнопкой мыши на вводе **sample mode** и выберите **Create»Constant** из контекстного меню.

b. Поместите ВП DAQmx Start Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП запускает выполнение задачи.

c. Поместите ВП DAQmx Read, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот полиморфный ВП считывает выборки данных. Выберите из выпадающего меню конфигуратора этого ВП опции **Analog»Multiple Channels»Multiple Samples»1D Waveform**.

d. Поместите функцию Bundle by Name, расположенную в палитре

Functions»All Functions»Cluster, на блок-диаграмму.

e. Поместите ВП Simple Error Handler, расположенный в палитре **Functions»All Functions»Time & Dialog**, на блок-диаграмму. Этот ВП определяет возникновение ошибки.

f. Поместите функцию Or, расположенную в палитре **Functions»Arithmetic & Comparison»Express Boolean**, на блок-диаграмму.

g. Поместите функцию Unbundle by Name, расположенную в палитре **Functions»All Functions»Cluster**, на блок-диаграмму. Эта функция возвращает логическое значение статуса ошибки **status**. При возникновении ошибки выполнение цикла будет остановлено.

3. Сохраните ВП.

4. Установите следующие значения для элементов управления лицевой панели:

• **Имя DAQmx канала**: `ThermoTemp` (Вместо ввода имени в этот элемент управления используйте выпадающее меню для выбора канала считывания температуры.)

- **#Выборок на канал**: `100`
- **Частота выборки**: `60.00`
- **Предельное значение температуры**: `30`

5. Запустите ВП.

6. Дотроньтесь пальцем до термопары для ее разогрева и наблюдайте рост температуры и превышение ей предельной линии, изображенной на развертке. Изменяйте значение предельной температуры в обе стороны и обратите внимание на график и поведение логического индикатора.

7. Остановите ВП.

8. Сохраните и закройте ВП.

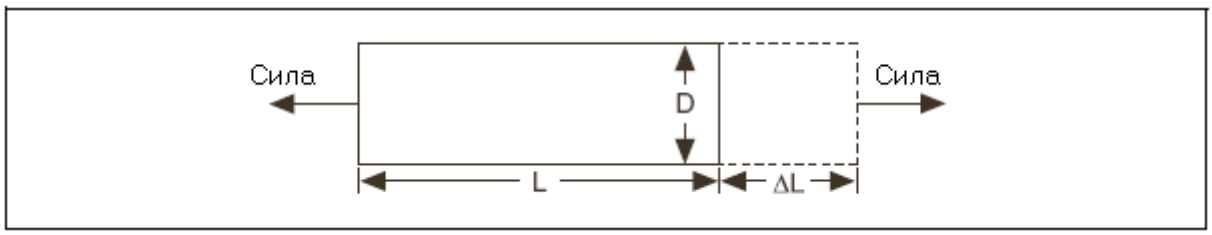
Конец упражнения 5-4

H. Деформация

Деформация (ε) описывает изменение размеров или формы тела под действием приложенной силы.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Более точно, деформация определяется как относительное изменение длины, как показано на следующей иллюстрации.



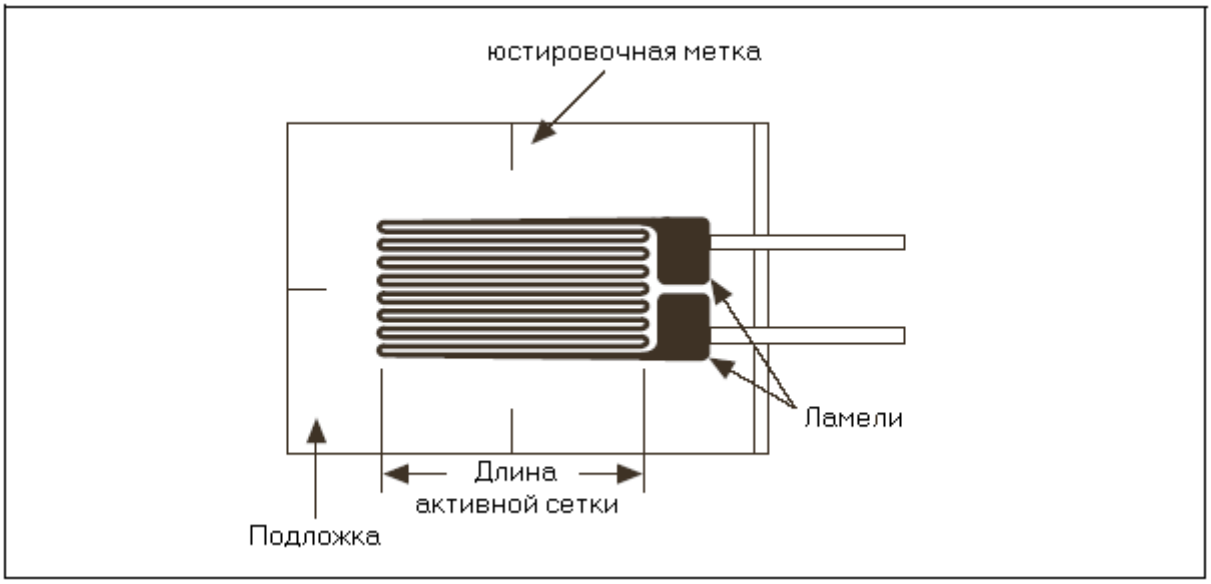
Деформация может быть положительной (растяжение) и отрицательной (сжатие). Несмотря на безразмерность этой величины, иногда деформацию выражают в таких единицах, как мм/мм. В практических приложениях оказывается, что амплитуда измеряемой деформации чрезвычайно мала. Поэтому деформацию часто выражают через микродеформацию (με), которая равна $\varepsilon \times 10^{-6}$.

Когда брусок деформирует одноосная сила, как на предыдущем рисунке, то возникает явление, известное как деформация Пуассона, которое вызывает изменение периметра D поперечного сечения бруска. Величина изменения определяется свойством самого материала и характеризуется отношением (коэффициентом) Пуассона. Коэффициент Пуассона ν материала определяется как отрицательное отношение деформации в поперечном направлении (перпендикулярно силе) к деформации в продольном направлении (параллельно силе), или $\nu = -\varepsilon_T/\varepsilon$. Коэффициент Пуассона для стали, например, может меняться от 0.25 до 0.3.

I. Тензодатчик

Хотя существует несколько методов измерения деформации, наиболее известным является измерение при помощи тензодатчика, устройства, чье электрическое сопротивление изменяется пропорционально величине его деформации. Например, пьезорезистивный тензодатчик – это полупроводниковое устройство, чье сопротивление нелинейно зависит от деформации. Наиболее часто используемым тензодатчиком является составной металлизированный тензодатчик.

Металлизированный тензодатчик состоит из очень тонкой проволоки или, в более общем случае, металлической фольги, расположенной в виде сетки. Сеточный шаблон доводит до максимума количество металлических проволок или фольги, подвергающихся деформации в параллельном направлении, как показано на следующей иллюстрации. Площадь поперечного сечения сетки делается минимальной для уменьшения влияния поперечной деформации и деформации сдвига. Сетка прикрепляется к тонкой подложке, которая называется держателем и которая присоединена непосредственно к исследуемому образцу. Поэтому, деформация, которую испытывает образец, передается непосредственно тензодатчику, который отвечает на нее линейным изменением электрического сопротивления. Тензодатчики нетрудно приобрести. Величина их номинального сопротивления может меняться от 30 до 3000 Ом, но наиболее часто встречающиеся значения – 120, 350 и 1000 Ом.



Очень важно правильно прикрепить тензодатчик к исследуемому образцу, так чтобы деформация правильно передавалась от образца через связующее вещество и подложку тензодатчика к самой фольге. Чтобы правильно смонтировать датчик, не забывайте обращаться за информацией к его производителю.

Главным параметром тензодатчика является его чувствительность к деформации, которая количественно выражается коэффициентом тензочувствительности (gauge factor). Коэффициент тензочувствительности (КТ) определяется, как соотношение относительного изменения электрического сопротивления и относительного изменения длины (деформации):

$$KT = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta L}{L}} = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\varepsilon}$$

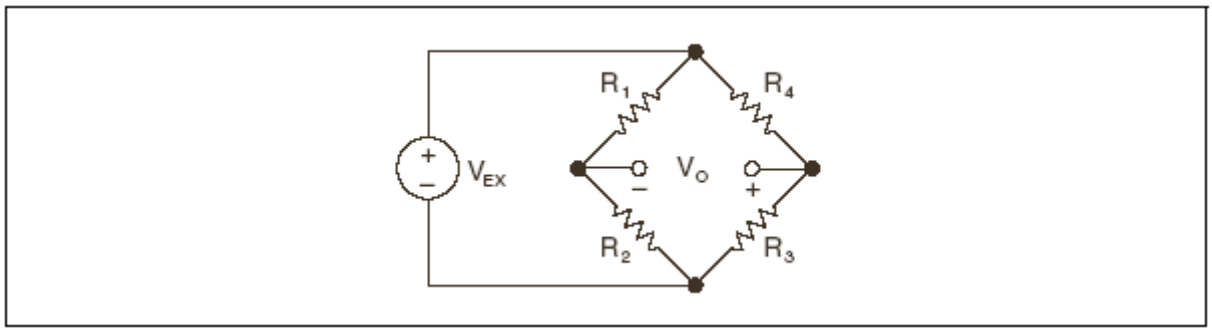
Коэффициент тензочувствительности металлических тензодатчиков обычно равен 2.

В идеальном случае сопротивление тензодатчика должно изменяться только в ответ на деформацию. Однако материалы и тензодатчика и образца, к которому он прикреплен, реагируют также и на температуру. Производители тензодатчиков прилагают все усилия, чтобы минимизировать чувствительность к температуре, специально обрабатывая материал датчика для компенсации температурного расширения материала образца, для которого предполагается использовать датчик. Но хотя компенсированные датчики уменьшают температурную чувствительность, совсем убрать ее не могут. Например, рассмотрим датчик, скомпенсированный для алюминия, имеющего температурный коэффициент 23 ppm/°C. При номинальном сопротивлении 1000 Ом эквивалентная ошибка измерения деформации все же равна 11.5 με/°C. Следовательно, очень важна дополнительная температурная компенсация.

Измерения с использованием тензодатчиков

Измерения деформаций редко приводят к величинам, превышающим несколько тысячных. Поэтому этот процесс требует аккуратного измерения очень небольших изменений сопротивления. Например, предположим, что испытуемый образец подвергается сильной деформации в 500 με. Относительное изменение электрического сопротивления тензодатчика с коэффициентом тензочувствительности 2, будет равно всего лишь $2 \times (500 \times 10^{-6}) = 0.1\%$. Для датчика с сопротивлением 120 Ом это изменение составит только 0.12 Ом.

Для измерения таких маленьких изменений сопротивления и для компенсации температурной чувствительности, которую мы обсуждали в предыдущем параграфе, совместно с тензодатчиками практически всегда используются мостовая схема с источником возбуждения током или напряжением. Широко распространенный мост Уитстона (Wheatstone bridge), показанный на следующем рисунке, состоит из четырех резистивных плеч, к которым приложено напряжение возбуждения V_{EX}.

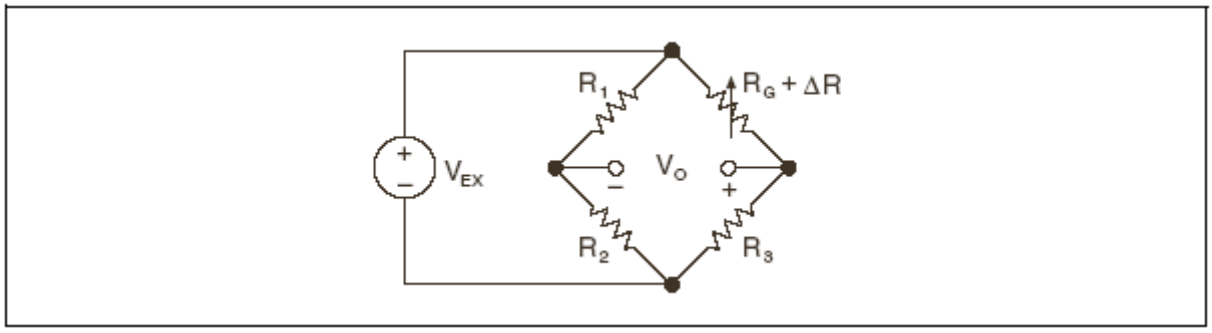


Выходное напряжение моста V_O определяется формулой

$$V_O = \left[\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] \times V_{EX}$$

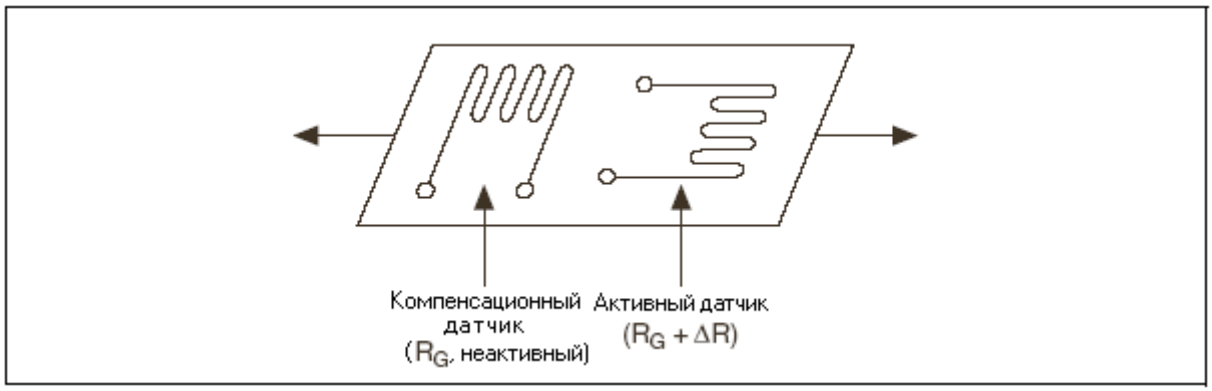
Из этого уравнения следует, что при $R_1/R_2 = R_3/R_4$, выходное напряжение V_O равно нулю.

В этом случае о мосте говорят, что он сбалансирован. Любое изменение сопротивления одного из плеч моста приведет к ненулевому выходному напряжению. Поэтому, если вы замените сопротивление R_4 на активный тензодатчик, как показано на следующей иллюстрации, то любое изменение сопротивления тензодатчика приведет к разбалансировке моста и генерации ненулевого выходного напряжения. Если номинальное сопротивление тензодатчика обозначить за R_G, то изменение сопротивления ΔR из-за деформации можно записать в виде $\Delta R = R_G \times KT \times \varepsilon$. Предполагая, что $R_1 = R_2$ и $R_3 = R_G$, уравнение моста можно переписать таким образом, чтобы выразить отношение V_O/V_{EX} в виде функции от деформации. Обратите внимание на присутствие множителя $1/(1 + KT \times \varepsilon/2)$, который свидетельствует о нелинейной зависимости выходного напряжения четверть мостовой схемы от деформации.



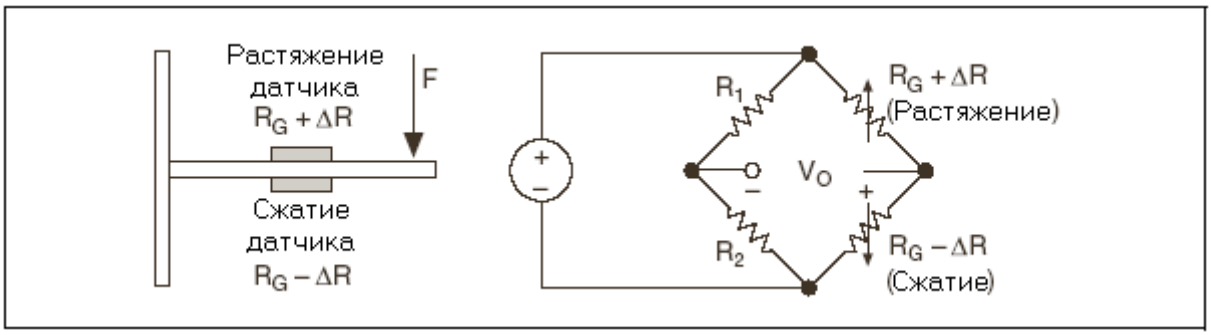
$$\frac{V_O}{V_{EX}} = -\frac{KT \times \varepsilon}{4}\left(\frac{1}{1 + KT \times \frac{\varepsilon}{2}}\right)$$

Используя два тензодатчика в мосте, можно исключить влияние температуры. Например, на следующем рисунке демонстрируется конфигурация тензодатчиков, когда один из них активен ($R_G + \Delta R$), а второй располагается поперечно приложенной деформации. Поэтому последняя оказывает небольшое влияние на второй тензодатчик, который называется в этом случае компенсационным тензодатчиком (dummy gauge). Однако любое изменение температуры будет влиять на оба датчика одинаковым образом. Вследствие этого отношение их сопротивлений не изменится, тогда и напряжение V_O не изменится, то есть влияние температуры будет минимальным.



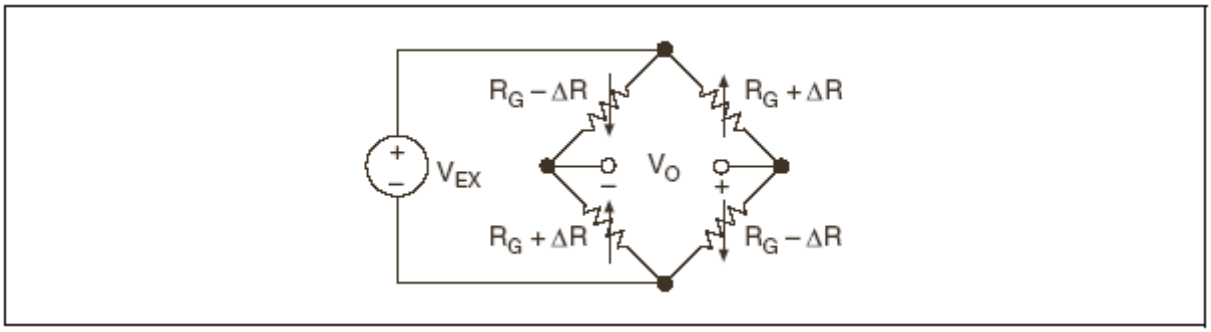
В качестве альтернативы можно удвоить чувствительность моста к деформации, делая оба датчика активными, но включенными в противоположных направлениях. Например, на следующем рисунке показано приложение изгибной балки, когда один датчик установлен на растяжение ($R_G + \Delta R$), а второй – на сжатие ($R_G - \Delta R$). Такая

полумостовая конфигурация, чья принципиальная схема также показана на следующей иллюстрации, приводит к тому, что выходное напряжение линейно и примерно равно удвоенному напряжению четвертьмостовой схемы.



$$\frac{V_O}{V_{EX}} = -\frac{KT \times \varepsilon}{2}$$

В заключении мы еще более увеличим чувствительность схемы, заменяя сопротивления всех плеч моста активными тензодатчиками, и устанавливая два из них на растяжение и два на сжатие. Следующая иллюстрация показывает полномостовую схему.

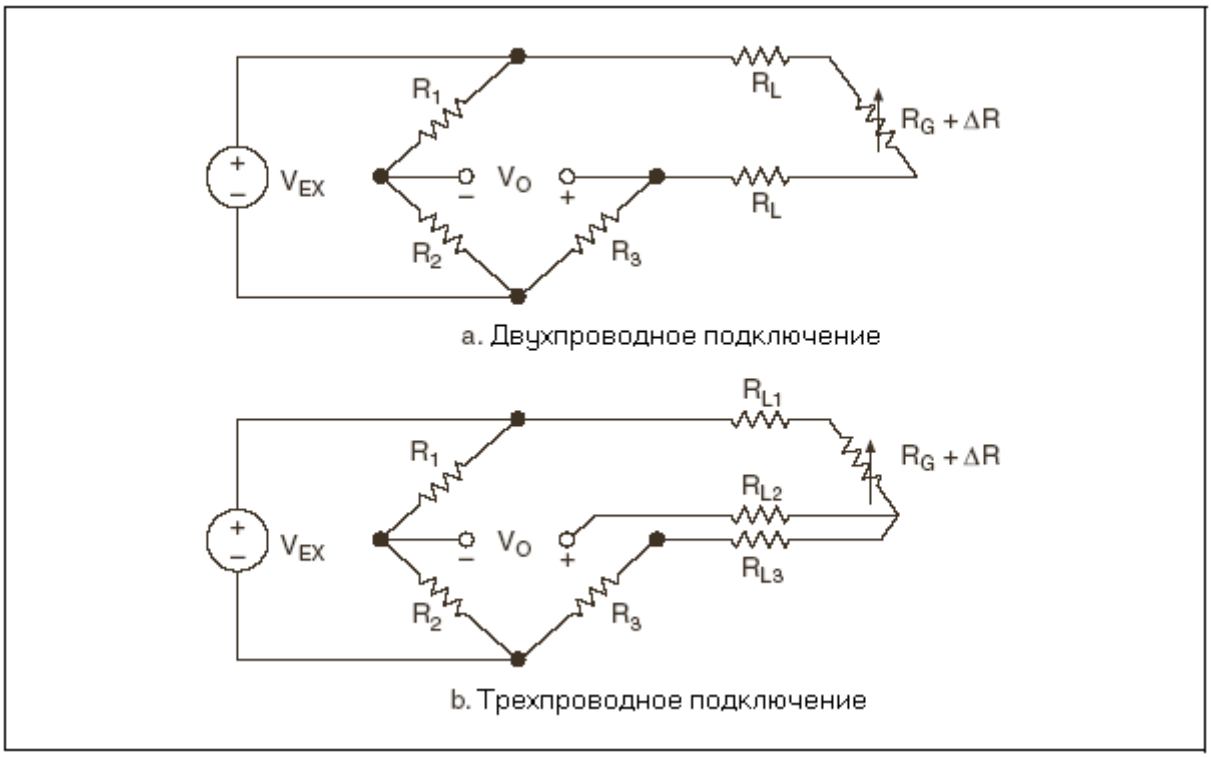


Уравнения, приведенные здесь для схем моста Уитстона, предполагают, что вначале мост сбалансирован, то есть без деформации выходное напряжение равно нулю. На практике, однако, допустимые отклонения величин сопротивлений и деформация при установке датчика приводят к тому, что существует некоторое начальное напряжение смещения. Обычно с начальным напряжением смещения поступают двояким образом. Во-первых, вы можете использовать специальную схему зануления начального смещения (балансировки) для подстройки сопротивлений в мосте, чтобы выходное напряжение моста было равно нулю. Или же, можно измерить начальное напряжение без деформации и скомпенсировать его программно. Уравнения деформации для четверть, полу и полно мостовых схем, учитывающие начальные выходные напряжения, можно найти в разделе *Тензометрические уравнения* данного занятия. Данные уравнения также учитывают влияние сопротивления подводящих проводов, присоединенных к датчикам.

Сопротивление подводящих проводов

Рисунки и уравнения предыдущего параграфа игнорировали сопротивление в подводящих проводах (lead wires) тензодатчика. Это может быть полезным на этапе изучения основ измерений с использованием тензодатчиков, однако на практике это может быть очень опасным. Например, рассмотрим двухпроводное присоединение тензодатчика, показанное в верхней половине следующего рисунка. Предположим, что

каждый проводник, соединяющий тензодатчик, имеет длину 15 метров и имеет сопротивление 1 Ом. Тогда оба проводника добавляют 2 Ома к сопротивлению каждого плеча моста. Кроме дополнительной ошибки смещения, сопротивление проводников приводит к уменьшению выходного напряжения. Из уравнений параграфа *Тензометрические уравнения* данного занятия нетрудно увидеть, что данное уменьшение количественно характеризуется множителем (1 + R_L/R_G). Можно компенсировать эту ошибку, измеряя сопротивление подводящих проводов R_L и используя это значение в тензометрических уравнениях. Однако есть более серьезная проблема, состоящая в изменении сопротивлений проводов под действием температуры. Зная типичные температурные коэффициенты медной проволоки, можно подсчитать, что небольшое изменение температуры может привести к ошибке измерения порядка нескольких με. Поэтому предпочтительной схемой включения тензодатчиков в четвертьмостовую схему является схема с использованием трех проводов, которая показана в нижней половине следующего рисунка. В этой конфигурации R_{L1} и R_{L3} расположены в соседних плечах моста. Любые изменения сопротивления из-за температуры компенсируют друг друга. Третий проводник с сопротивлением R_{L2} присоединен к входу измерительной системы. Ток, текущий по проводнику, очень мал, поэтому влиянием этого сопротивления можно пренебречь.

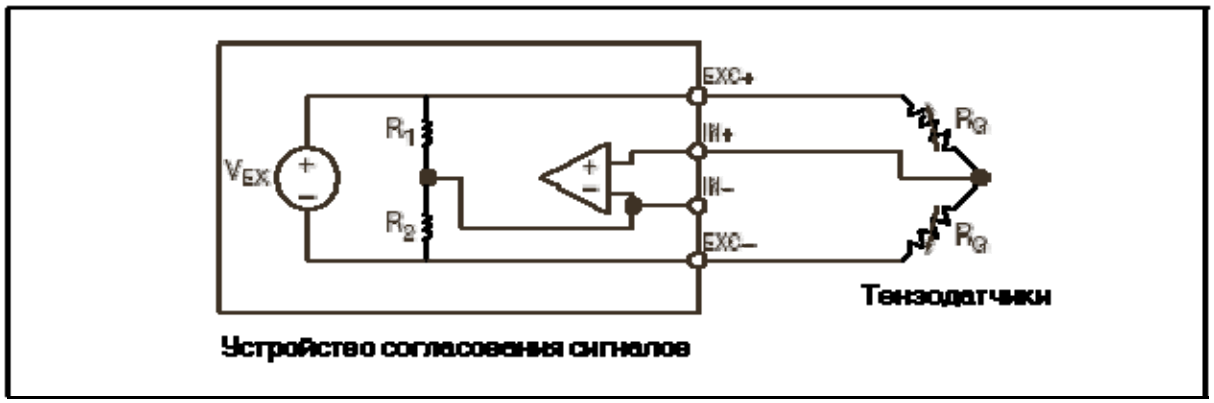


J. Согласование сигналов с тензодатчиков

Измерение с использование тензодатчиков включает в себя обнаружение чрезвычайно малых изменений сопротивления. Следовательно, для достоверных измерений необходимы правильный выбор и использование моста, согласования сигналов, схемы соединений и компонентов для сбора данных.

Выбор моста

Если вы не используете полномостовую схему с четырьмя активными тензодатчиками, то в части плеч моста необходимо использовать опорные резисторы. Поэтому обычно согласующие устройства сигналов с тензодатчиков предоставляют полумостовую схему, состоящую из двух высокоточных опорных резисторов. Следующая иллюстрация демонстрирует присоединение полумостовой схемы тензодатчиков к устройству согласования сигналов с добавочными резисторами R_1 и R_2. Само значение номинального сопротивления добавочных резисторов менее важно, чем то, насколько они совпадают по величине. В идеальном случае резисторы равны и создают стабильное опорное напряжение $V_{EX}/2$ на отрицательном входе канала измерения.



Возбуждение моста

Устройства согласования сигналов тензодатчиков обычно обеспечивают источник постоянного напряжения для питания моста. Поскольку до сих пор не существует стандарта для уровня напряжения возбуждения, оно может меняться от 3 до 10 вольт. Хотя большее напряжение возбуждения приводит к пропорционально большему выходному напряжению, оно может создать большую ошибку из-за явления саморазогрева. Важно, чтобы напряжение возбуждения было точным и стабильным. Однако можно использовать и менее точное или стабильное напряжение и проводить, тем не менее, точные измерения, используя управление/слежение напряжением возбуждения.

Управление напряжением возбуждения

Если схема с тензодатчиком располагается на некотором расстоянии от устройства согласования сигналов и источника возбуждения, то возникает возможный источник ошибок – падение напряжения, обусловленное сопротивлением проводов, подводящих напряжение возбуждения к мосту. По этой причине некоторые устройства согласования сигналов обеспечивают дополнительную возможность – дистанционное управление/слежение (remote sensing) для компенсации этой ошибки.

Существует два главных метода дистанционного управления/слежения. Первый из них – дистанционное управление с обратной связью, когда вы присоединяете дополнительные провода управления к точке, в которой провода напряжения возбуждения соединяются со схемой моста. Дополнительные провода служат для регулировки источника напряжения возбуждения с целью компенсации потерь в проводниках и обеспечения моста необходимым напряжением.

В другом методе используется отдельный измерительный канал для непосредственного измерения напряжения возбуждения, приложенного параллельно мосту. Поскольку провода измерительного канала проводят очень слабый ток, то их сопротивление окажет пренебрежимо малое влияние на измерение. Затем значение измеренного напряжения возбуждения будет использоваться в преобразовании напряжения в деформацию для компенсации потерь в проводниках.

Усиление сигнала

Выходное напряжение тензодатчиков и мостов относительно мало. На практике, большинство тензомостов и преобразователей деформаций выдают напряжение меньшее 10 мкВ/В (10 мкВ выходного напряжения на 1 вольт напряжения возбуждения). Поэтому устройства согласования сигнала обычно содержат усилители для увеличения уровня сигнала, что приведет к большей разрешающей способности измерения и лучшему соотношению сигнал-шум. Например, модули согласования сигнала SCXI содержат усилители с перестраиваемым КУ, который может меняться вплоть до 2000.

Балансировка моста, зануление напряжения смещения

После установки моста маловероятно, что его выходное напряжение будет точно равно нулю в отсутствии деформации. Скорее всего, небольшое различие сопротивлений в плечах моста и сопротивление подводящих проводов вызовут генерацию некоторого начального напряжения смещения. Существует несколько способов, позволяющих системе управляться с этим напряжением.

Программная компенсация

В первом методе начальное напряжение компенсируется программно. В этом случае перед деформацией вы должны произвести замер начального напряжения, которое затем будет использоваться в тензометрических уравнениях, о которых мы будем говорить в параграфе *Тензометрические уравнения*. Этот метод прост, быстр в использовании и не требует ручных настроек. Единственный его недостаток – это невозможность удаления напряжения смещения моста. Если это напряжение достаточно велико, оно будет ограничивать КУ усилителя в выходной цепи моста, ограничивая таким образом динамический диапазон измерения.

Схема зануления напряжения смещения

Во втором методе балансировки используется перестраиваемый резистор или потенциометр для физической подстройки выходного напряжения к нулю. Например, на рисунке 5-5 показана схема зануления, реализованная в терминальном узле SCXI-1321. Вращая ручку потенциометра (R_{POT}), вы можете управлять уровнем выходного напряжения моста и установить начальное напряжение в ноль. Значение R_{NULL} устанавливает диапазон, который схема может сбалансировать.

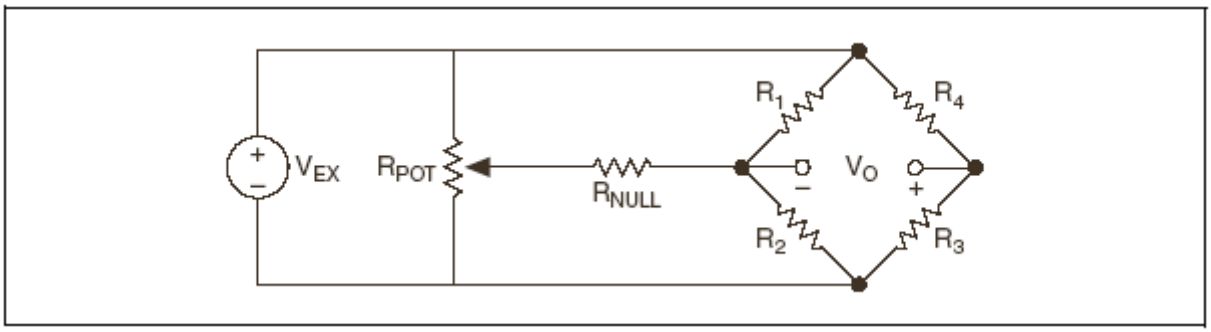


Рисунок 5-5. Схема зануления напряжения смещения терминального узла SCXI-1321

Буферизированное зануление напряжения смещения

Третий метод, как и первый, не оказывает непосредственного влияния на мост. В этом методе схема зануления добавляет перестраиваемое постоянное напряжение к выходному напряжению инструментального усилителя. Например, в модуле для тензодатчиков SC-2043-SG используется такой метод. SC-2043-SG содержит перестраиваемый потенциометр, с помощью которого можно добавлять ±50 мкВ к выходному напряжению инструментального усилителя, имеющего постоянный КУ равный 10. Поэтому диапазон зануления, пересчитанный к входному напряжению равен ±5 мкВ.

Калибровка с использованием шунта

Калибровка с использованием шунта – обычная процедура проверки выходного напряжения измерительной системы на основе тензодатчиков относительно некоторой преопределенной деформации. При калибровке симулируется деформация путем изменения сопротивления одного из плеч моста на некоторую известную величину. Это происходит за счет шунтирования высокоомным резистором с заданным значением одного из плеч моста, что создает известное ΔR. Вы можете измерить выходное напряжение моста и сравнить его с ожидаемым значением, а результат использовать для коррекции систематической ошибки измерения или просто, чтобы убедиться, что установка собрана правильно.

K. Тензометрические уравнения

В этом параграфе приведены полные тензометрические уравнения для некоторых типов конфигураций мостов. Эти уравнения запрограммированы в виде функций (с источником кода) в NI-DAQ. Функции называются `Strain_Convert` и `Strain_Buf_Convert`. В LabVIEW эти уравнения лежат в основе ВП Convert Strain Gauge Reading, расположенного в палитре **Functions»NI Measurements»Data Acquisition»Signal Conditioning**.

Для упрощения записи уравнений и учета разбалансированных мостов в недеформированном состоянии введено отношение V_r, которое равно

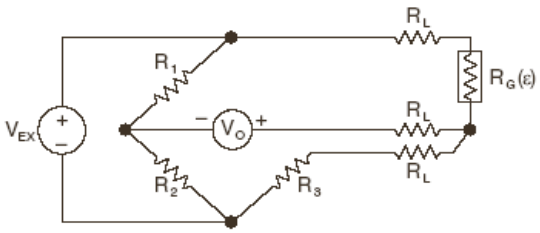
$$V_r = \frac{V_{O(\text{деф})} - V_{O(\text{без деф})}}{V_{EX}}$$

где $V_{O(\text{деф})}$ – измеренное выходное напряжение при деформации, а $V_{O(\text{без деф})}$– начальное напряжение, то есть выходное напряжение без деформации. V_{EX} – это напряжение возбуждения.

Обозначим (+ε) и (–ε) активные тензодатчики, работающие на растяжение и на сжатие, соответственно. Обозначение (–νε) мы введем для тензодатчика, включенного в поперечном направлении, так что его сопротивление меняется в основном из-за пуассоновской деформации, чья амплитуда обозначается как –νε.

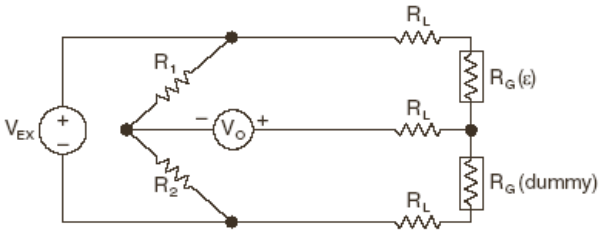
Другие обозначения, используемые в уравнениях, это:

- R_G = номинальное значение сопротивления тензодатчика
- GF = коэффициент тензочувствительности тензодатчика
- R_L = сопротивление подводящих проводов



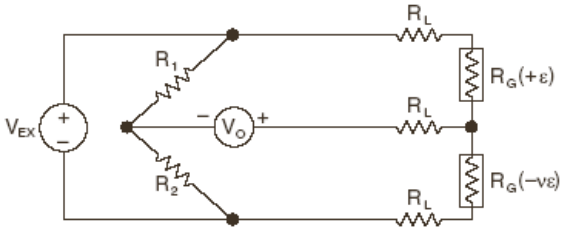
Четверьтмостовая схема I

$$\varepsilon = \frac{-4V_r}{GF(1+2V_r)} \bullet \left(1 + \frac{R_L}{R_G}\right)$$



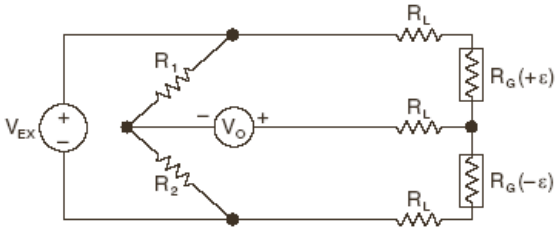
Четвертьмостовая схема II

$$\varepsilon = \frac{-4V_r}{GF(1+2V_r)} \bullet \left(1 + \frac{R_L}{R_G}\right)$$



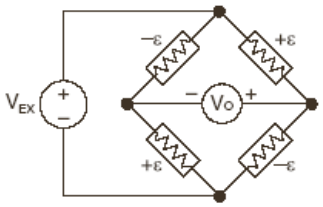
Полумостовая схема I

$$\varepsilon = \frac{-4V_r}{GF[(1+\nu)-2V_r(\nu-1)]} \bullet \left(1 + \frac{R_L}{R_G}\right)$$



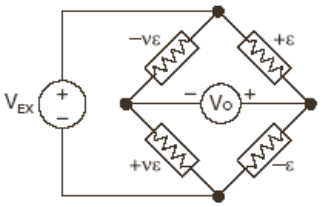
Полумостовая схема II

$$\varepsilon = \frac{-2V_r}{GF} \bullet \left(1 + \frac{R_L}{R_G}\right)$$



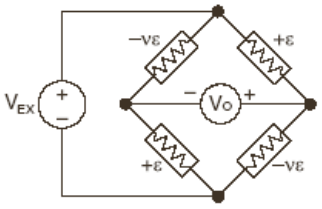
Полномостовая схема I

$$\varepsilon = \frac{-V_r}{GF}$$



Полномостовая схема II

$$\varepsilon = \frac{-2V_r}{GF(\nu+1)}$$



Полномостовая схема III

$$\varepsilon = \frac{-2V_r}{GF[(\nu+1)-V_r(\nu-1)]}$$

Упражнение 5-5. Измерение деформации

Задача: Выполнить измерение с помощью тензодатчика

В данном упражнении вы получите данные с тензодатчика, присоединенного к модулю SCXI-1520 и программно выполните калибровку с использованием шунта и зануление напряжения смещения с целью увеличения точности считываемого значения.

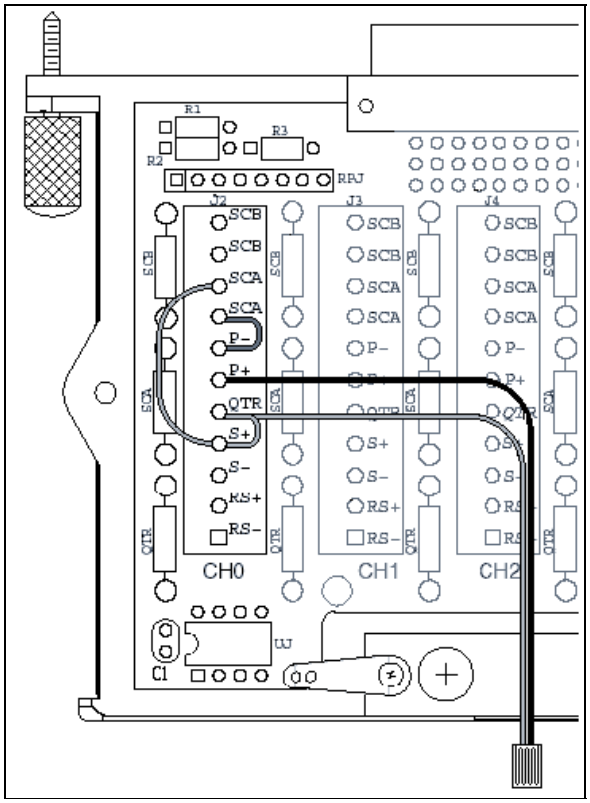
Присоединение тензодатчика к нулевому каналу терминального узла SCXI-1314

Предупреждение. Модули SCXI *нельзя* переставлять при включенном шасси. Перед удалением или добавлением модулей, терминальных узлов или кабелей убедитесь, что шасси обесточено.

1. Выключите инструментальное шасси.

2. Снимите защитную крышку с терминального узла SCXI-1314.

3. Посмотрите на SCXI-1314 и найдите QTR0, как показано на следующей иллюстрации.



1 Шунты для калибровки 100 кОм
2 QTR0: Резистор 120 Ом
3 Тензодатчик (120 Ом)

Это – резистор, участвующий в построении четверьмостовой схемы I типа. В данном упражнении используется тензодатчик с сопротивлением 120 Ом, требующий такой схемы включения. Остальные резисторы четверьмостовой схемы вставлены в гнезда, так что в случае необходимости их можно сменить. Все универсальные терминальные узлы SCXI-1314 для тензодатчиков, используемые в данном курсе, уже имеют вставленные

резисторы величиной 120 Ом.

Примечание. Резисторы 120 Ом должны быть прецизионными. Совместно с инструктором проверьте, что резисторы, используемые в вашей установке, именно такого типа.

4. Присоедините тензодатчик к каналу CH0 на SCXI-1314, изучив предыдущую иллюстрацию и выполнив следующие шаги.

a. Назначение терминалов следующее:

- S+ и S– для аналогового ввода.
- RS+ и RS– для дистанционного управления (не используются в данном упражнении)
- P+ и P– для генерации напряжения возбуждения.
- SCA – для калибровки схемы A с использованием шунта.
- SCB – для калибровки схемы B с использованием шунта (не используются в данном упражнении).

b. Присоедините один провод от тензодатчика к P+ канала CH0.

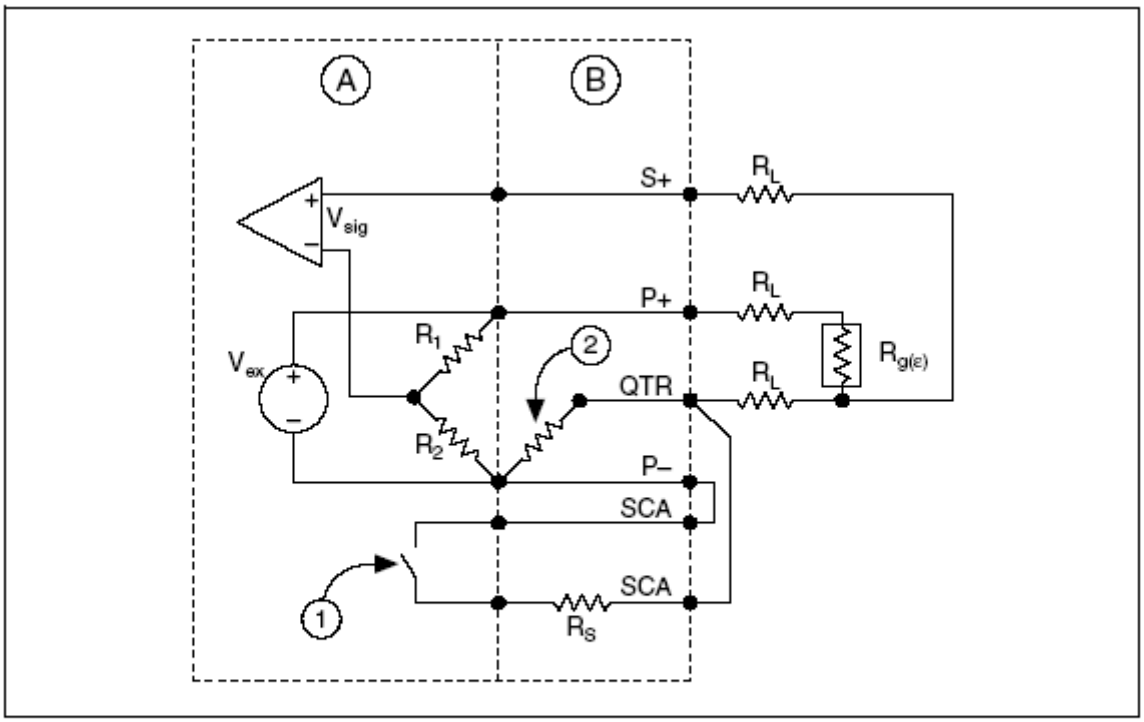
c. Присоедините другой провод от тензодатчика к QTR CH0.

d. Присоедините провод от QTR к S+.

e. Присоедините провод от S+ к одному из двух терминалов SCA.

f. Присоедините провод от P– к другому терминалу SCA.

На следующем рисунке показана диаграмма подключений для четверьмостовой схемы.



A SCXI-1520 Реализует четвертьмостовую схему моста
B SCXI-1314
1 Шунт для калибровки схемы A
2 Компенсационный резистор

5. Верните крышку SCXI-1314 на место.

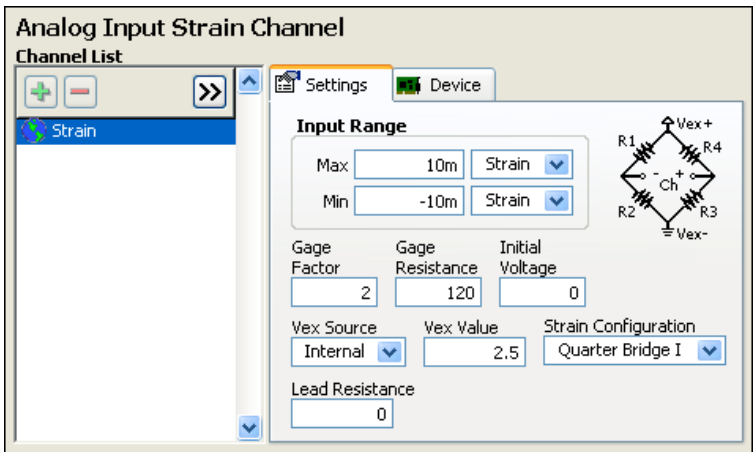
6. Присоедините SCXI-1314 к SCXI-1520.

7. Включите инструментальное шасси.

Калибровка в MAX

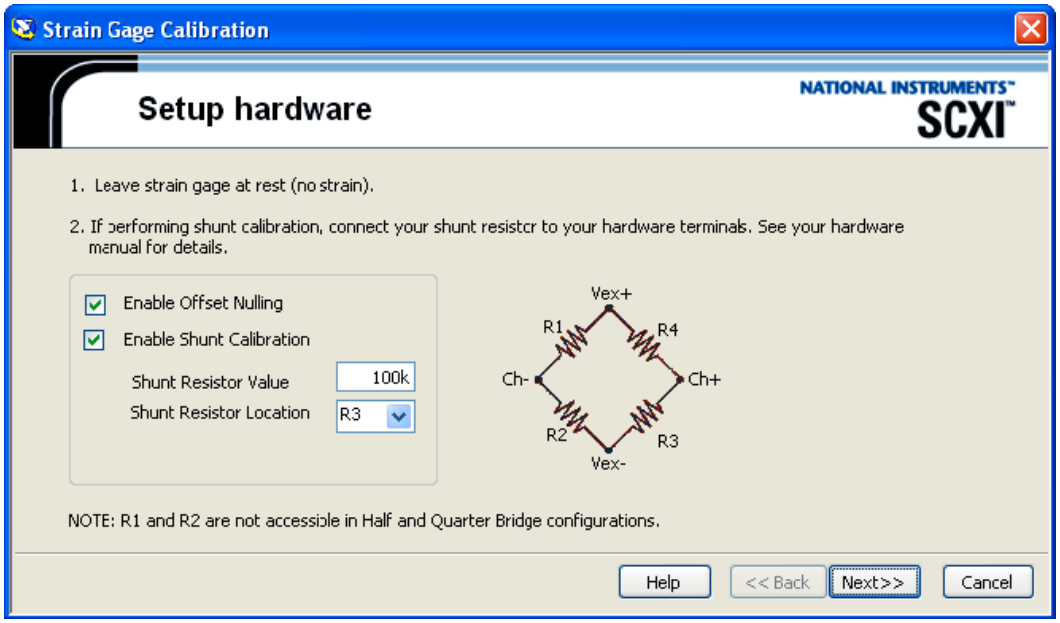
1. Запустите MAX и создайте новый глобальный NI-DAQmx канал для считывания значений деформации (Analog Input Strain Channel). Назовите канал `Strain`.

2. В Помощнике по сбору данных используйте следующие настройки.



3. Нажмите вкладку **Device**. Оставьте все настройки по умолчанию и нажмите **Calibration**

для вызова диалогового окна **Strain Gage Calibration**.



4. Нажмите кнопку **Next**.

5. Выходное значение тензодатчика будет автоматически измерено. Обратите внимание на столбцы **Err %** для подстройки смещения **Offset Adjustment** и усиления **Gain Adjustment (with shunt)**.

6. Нажмите кнопку **Calibrate**. Величина ошибки должна быть очень близка к нулю.

7. Нажмите кнопку **Finish**.

8. Закройте MAX. Не сохраняйте канал `Strain`.

Считывание значений деформации с программной калибровкой, использующей шунт, и занулением напряжения смещения

1. Запустите LabVIEW и выберите **Help»Find Examples** для вызова поисковика примеров NI Example Finder. В режиме поиска по типу задачи зайдите последовательно в папки **Hardware Input and Output»DAQmx»Analog Measurements»Strain** и откройте ВП Acq Strain Samples (with Calibration).

2. Изучите блок-диаграмму. Обратите внимание на использование узла свойств DAQmx Channel Property Node.

3. Переключитесь на лицевую панель и введите следующие значения для элементов управления лицевой панели.

- **Physical Channels**: `SC1Mod1/ai0`
- **Input Limits**: **High**: `0.01`, **Low**: `-0.01`
- **Filter Enabled?**: `TRUE` (Вызовите контекстное меню этого элемента управления и выберите **Data Operations»Change Value to True**.)

- **Gauge Factor**: Спросите инструктора о значении этой величины.
- **Nominal Gage Resistance**: `120`
- **Strain Configuration**: `Quarter Bridge I` (Выберите это значение из выпадающего меню, а не вводите его с клавиатуры.)
- **Excitation Voltage**: `2.500`
- **Do Strain Null?**: `TRUE`
- **Do Shunt Cal?**: `TRUE`
- **Shunt Location**: `R3`
- **Shunt Resistance**: `100000`
- **Measure Actual Excitation?**: `TRUE`

4. Запустите ВП.

5. Пройдет несколько секунд пока ВП выполнит зануление и калибровку с использование шунта.

6. Растяните и сожмите тензодатчик. Когда вы деформируете металлический брусок, прикрепленный к тензодатчику, вы должны увидеть изменения показаний стрелочного индикатора, которые должны колебаться около нуля.

7. Остановите и закройте ВП. Не сохраняйте никаких изменений.

Конец упражнения 5-5

Упражнение 5-6. Демонтаж инструментального шасси

Задача: Отключить все измерительные преобразователи и терминальные узлы от инструментального шасси.

Предупреждение. Модули SCXI *нельзя* переставлять при включенном шасси. Перед удалением или добавлением модулей, терминальных узлов или кабелей убедитесь, что шасси обесточено.

1. Отключите питание инструментального шасси.

2. Отсоедините терминальные узлы SCXI-1304, SCXI-1327, SCXI-1314 и SCXI-1302 от инструментального шасси.

3. Снимите защитные крышки терминальных узлов и удалите все замыкающие провода и измерительные преобразователи.

4. Верните крышки на соответствующие терминальные узлы.

5. Аккуратно вытащите 68-контактный кабель из разъема в тыльной части шасси и присоедините его к испытательной коробке.

6. Запустите MAX. Дважды щелкните кнопкой мыши на разделе **Devices and Interfaces»NI-DAQmx Devices**.

7. Удалите устройство **SCXI-1000** и выйдете из MAX.

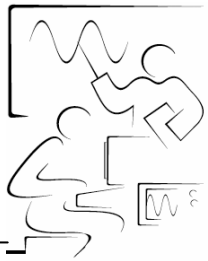
Конец упражнения 5-6

Итоги

- Согласование сигналов можно осуществить, используя модули SCXI или SCC.
- Устройства согласования сигналов управляются при помощи УСД.
- Согласование сигналов предусматривает усиление, мультиплексирование, фильтрацию электрическую изоляцию и т.д.
- Согласование сигналов обеспечивает необходимую фильтрацию, изоляцию и усиление в случае применения термопар.
- Измерения с использованием тензодатчиков можно легко выполнить, если использовать согласование сигналов.

Примечания

Занятие 6
Обработка сигналов



На этом занятии изучаются основы цифровой обработки сигналов.

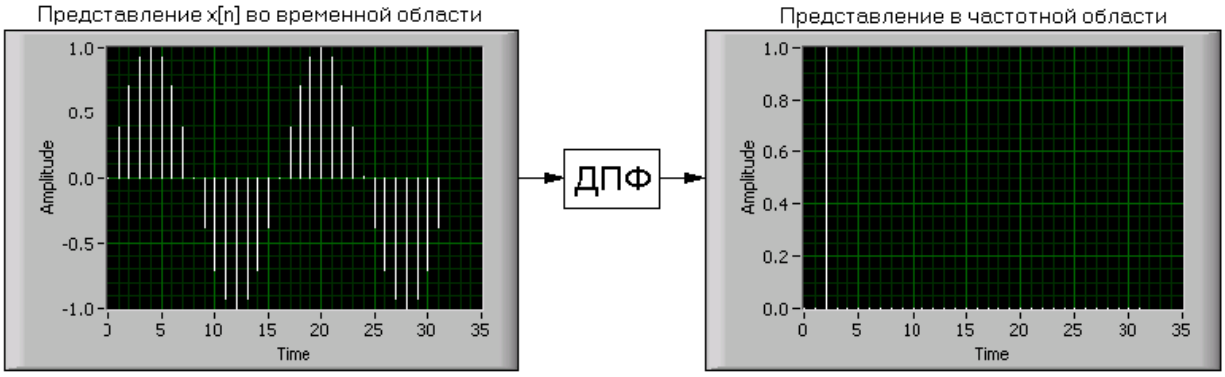
Задачи:

A. Познакомиться с дискретным преобразованием Фурье (ДПФ) и быстрым преобразованием Фурье (БПФ)
B. Изучить понятия амплитуды и фазы
C. Спектральные утечки энергии и сглаживающие окнах
D. Ознакомиться с фильтрацией и случаями, когда она необходима
E. Изучить различия между БИХ и КИХ фильтрами

A. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ) и быстрое преобразование Фурье (БПФ)

Выборки сигнала, полученные с помощью DAQ устройства, составляют представление сигнала во временной области (time-domain). Это представление дает зависимость амплитуды сигнала от времени, в течение которого происходила выборка. Однако во многих случаях вам скорее понадобится знать частотное содержимое сигнала, а не амплитуды отдельных выборок. Представление сигнала на основе его отдельных частотных компонент известно как представление сигнала в частотной области (frequency-domain). Это представление дает лучшее понимание природы сигнала и системы, которая его сгенерировала.

Алгоритм, используемый для преобразования выборок данных из временной области в частотную, известен как дискретное преобразование Фурье или ДПФ (discrete Fourier transform – DFT). ДПФ устанавливает взаимосвязь между выборками сигнала во временной области и их представлением в частотной области. Это показано на следующей иллюстрации. ДПФ используется в спектральном анализе, прикладной механике, медицинской интроскопии, численном анализе, приборостроении, телекоммуникации и других областях.



Если вы получили N выборок сигнала с помощью DAQ устройства и затем применяете к N выборкам временного представления сигнала ДПФ, то результатом будут также N выборок, но содержащаяся в них информация будет находиться в частотной области.

Если выборка сигнала происходила с частотой f_s Гц, то временной интервал между выборками (интервал дискретизации) равен Δt, где

$$\Delta t = \frac{1}{f_s}$$

Оцифрованный сигнал обозначается как x[i], $0 \le I \le N - 1$(то есть всего имеется N выборок). Когда дискретное преобразование Фурье, вычисляемое по формуле

$$X_k = \sum_{i=0}^{N-1} x_i e^{\frac{-j2\pi ik}{N}}, \text{ для } k = 0, 1, 2, \ldots, N-1, \qquad (6\text{-}1)$$

(где j – комплексная единица) применяется к этим N выборкам, то в результате (X[k], $0 \le k \le N - 1$) получается представление x[i] в частотной области. Обратите внимание, что

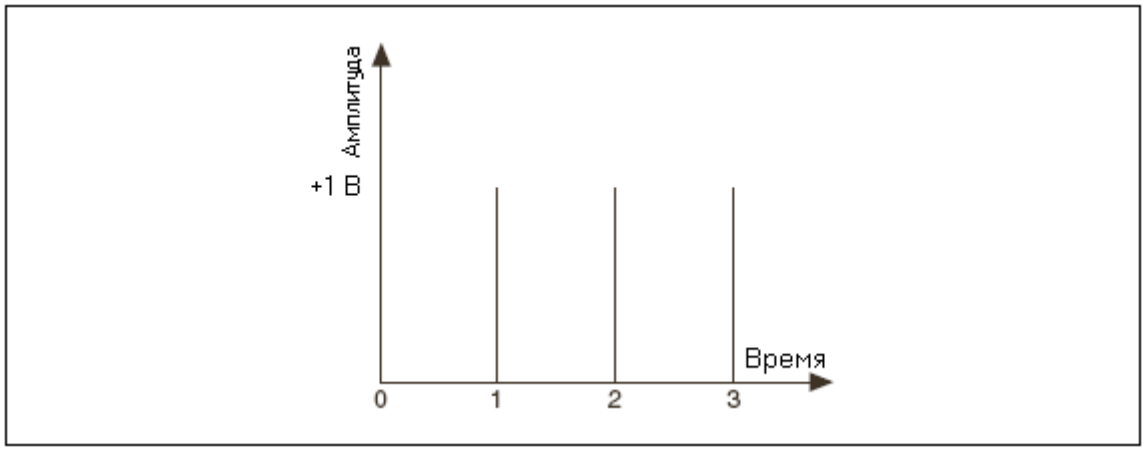
представления сигнала и во временной и в частотной областях имеют N выборок. Подобно тому, как во временной области промежуток между выборками был равен Δt, так и в частотной области существует частотный интервал

$$\Delta f = \frac{f_s}{N} = \frac{1}{N\Delta t}$$

между компонентами X. Δf известен также как разрешение по частоте. Чтобы увеличить частотное разрешение (меньшие Δf), нужно либо увеличить количество выборок N при неизменной частоте выборки f_s, либо уменьшить частоту выборки f_s при неизменном количестве выборок N.

Пример вычисления ДПФ

Предположим, что $X[0]$ соответствует постоянному смещению (или среднему значению) сигнала. Для вычисления ДПФ осциллограммы по формуле 6-1, рассмотрим постоянный сигнал с амплитудой +1 вольт. На следующей иллюстрации представлены четыре выборки такого сигнала.



Каждая из выборок имеет величину +1, что дает временную последовательность

x[0] = x[1] = x[2] = x[3] = 1

Используя уравнение 6-1 для вычисления ДПФ этой последовательности и применяя тождество Эйлера,

$$\exp(-j\theta) = \cos(\theta) - j\sin(\theta)$$

получим:

$$X[0] = \sum_{i=0}^{N-1} x_i e^{\frac{-j2\pi i0}{N}} = x[0] + x[1] + x[3] = 4$$

$$X[1] = x[0] + x[1]\left(\cos\left(\frac{\pi}{2}\right) - j\sin\left(\frac{\pi}{2}\right)\right) + x[2]\left(\cos(\pi) - j\sin(\pi)\right) +$$

$$x[3]\left(\cos\left(\frac{3\pi}{2}\right) - j\sin\left(\frac{3\pi}{2}\right)\right) = (1 - j - 1 + j) = 0$$

$$X[2] = x[0] + x[1](\cos(\pi) - j\sin(\pi)) + x[2](\cos(2\pi) - j\sin(2\pi)) +$$
$$x[3](\cos(3\pi) - j\sin(3\pi)) = (1 - 1 + 1 - 1) = 0$$

$$X[3] = x[0] + x[1]\left(\cos\left(\frac{3\pi}{2}\right) - j\sin\left(\frac{3\pi}{2}\right)\right) + x[2]\left(\cos(3\pi) - j\sin(3\pi)\right)$$
$$+x[3]\left(\cos\left(\frac{9\pi}{2}\right) - j\sin\left(\frac{9\pi}{2}\right)\right) = (1 + j - 1 - j) = 0$$

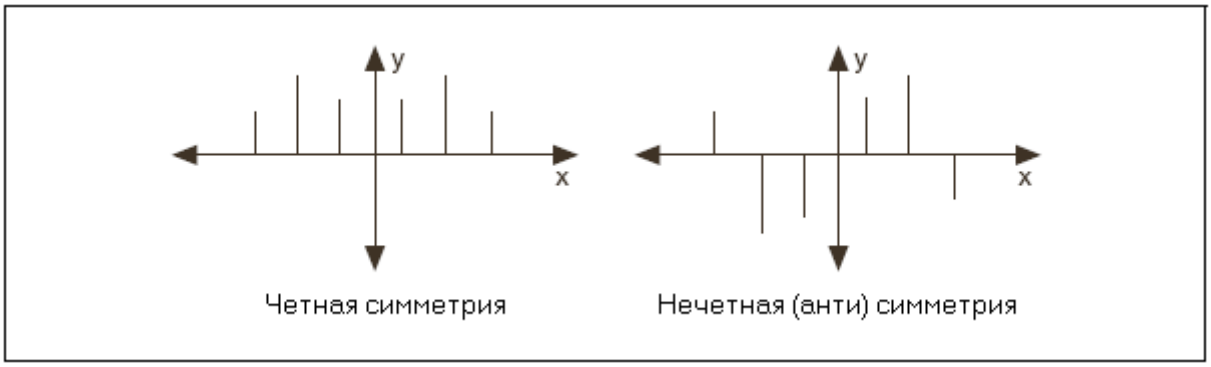
Кроме постоянной компоненты, $X[0]$, все другие равны нулю, как и ожидалось. Однако, вычисленное значение $X[0]$ зависит от величины N (числа выборок). Поскольку у нас было $N = 4$, $X[0] = 4$. Если бы $N = 10$, то мы бы получили $X[0] = 10$. Эта зависимость $X[.]$ от N возникает также для всех остальных частотных компонент. Обычно результат ДПФ делят на N для получения правильной амплитуды частотной компоненты.

Амплитудная и фазовая информация

Как вы уже видели, N выборок входного сигнала дают в результате N выборок ДПФ. То есть число выборок временного и частотного представлений одинаково. Из уравнения 6-1 видно, что вне зависимости от того является ли исходный сигнал $x[i]$ действительным или комплексным, $X[k]$ всегда будет комплексным, хотя мнимая часть может быть равной нулю. Поскольку ДПФ – комплексное, оно содержит две части информации – амплитуду и фазу. Для действительных сигналов ($x[i]$ – действительные), полученных, например, с выхода канала DAQ устройства, ДПФ – симметрично относительно индекса N/2 со следующими свойствами:

$|X[k]| = |X[N-k]|$ и фаза $(X[k])$ = – фаза $(X[N-k])$

Симметрия амплитуды $X[k]$ известна как четная, а фазы ($X[k]$) – нечетная. Сигнал с четной симметрией такой, который симметричен относительно оси y, а сигнал с нечетной симметрией симметричен относительно начала координат. Следующий рисунок демонстрирует эту ситуацию.



Результирующий эффект этой симметрии заключается в повторении информации, содержащейся в N выборках ДПФ. Из-за этого повтора информации для вычисления или отображения ДПФ необходима только половина всех выборок. Другую половину выборок можно получить из первой.

Примечание. Если входной сигнал – комплексный, то ДПФ не будет симметричным, тогда и указанный метод неприменим.

B. Частотный интервал и симметрия ДПФ/БПФ

Поскольку интервал выборки равен t секунд, и предполагается, что первая ($k = 0$) выборка данных началась в 0 секунд, то *k-ая* ($k > 0$, k – целое) выборка данных произошла в $k\Delta t$ секунд. Похожим образом разрешение по частоте, равное Δf, где $\Delta f = \frac{f_s}{N}$, означает, что *k-ая* выборка ДПФ произошла на частоте $k\Delta f$ Гц. Эти рассуждения справедливы для выборок с индексом большим половины всех выборок. Другая половина выборок представляет компоненты с отрицательной частотой. В зависимости от того четно или нечетно число выборок N, можно по-разному интерпретировать частоту, соответствующую *k-ой* выборке ДПФ.

Четное число выборок

Предположим, что N – четное и $p = \frac{N}{2}$.

Следующая таблица показывает частоту, соответствующую каждому элементу комплексной результирующей последовательности X.

Элемент массива	Соответствующая частота
X[0]	постоянная составляющая
X[1]	Δf
X[2]	$2\Delta f$
X[3]	$3\Delta f$
. . .	. . .
X[p–2]	$(p–2)\Delta f$
X[p–1]	$(p–1)\Delta f$
X[p]	$p\Delta f$ (частота Найквиста)
X[p+1]	$–(p–1)\Delta f$
X[p+2]	$–(p–2)\Delta f$
. . .	. . .
X[N–3]	$– 3\Delta f$
X[N–2]	$– 2\Delta f$
X[N–1]	$– \Delta f$

p-ый элемент X[p] соответствует частоте Найквиста. Отрицательные элементы во втором столбце, выходящие за пределы частоты Наквиста, представляют отрицательные частоты.

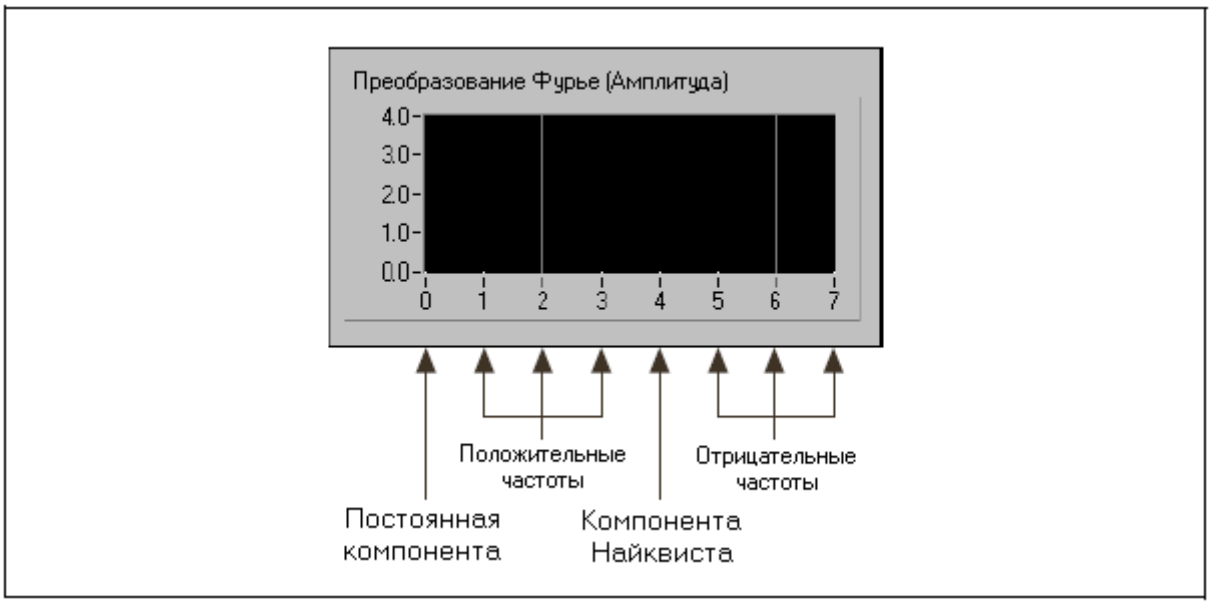
Например, если $N = 8$, $p = N/2 = 4$, тогда

X[0]DC
X[1] Δf
X[2]$2\Delta f$
X[3]$3\Delta f$
X[4]$4\Delta f$ (частота Найквиста)
X[5]$–3\Delta f$

X[6]–2Δ*f*
X[7]– Δ*f*

X[1] и X[7], X[2] и X[6], X[3] и X[5] имеют попарно одинаковую амплитуду. Различие заключается в том, что X[1], X[2] и X[3] соответствуют положительным частотным компонентам, в то время как X[5], X[6] и X[7] – отрицательным. Обратите внимание, что X[4] находится на частоте Найквиста.

Следующий рисунок представляет эту комплексную последовательность при $N = 8$.



Такой тип представления, когда можно наблюдать и положительные и отрицательные частоты, известен, как двустороннее преобразование.

Нечетное число выборок

Предположим, что N – нечетно. Пусть $p = (N - 1)/2$. Следующая таблица показывает частоту, соответствующую каждому элементу комплексной результирующей последовательности X.

Элемент массива	Соответствующая частота
X[0]	постоянная составляющая
X[1]	Δf
X[2]	$2\Delta f$
X[3]	$3\Delta f$
. . .	. . .
X[p–1]	$(p–1)\Delta f$
X[p]	$p\Delta f$
X[p+1]	$–p\Delta f$
X[p+2]	$–(p–1)\Delta f$
. . .	. . .

X[N–3]	$-3\Delta f$
X[N–2]	$-2\Delta f$
X[N–1]	$-\Delta f$

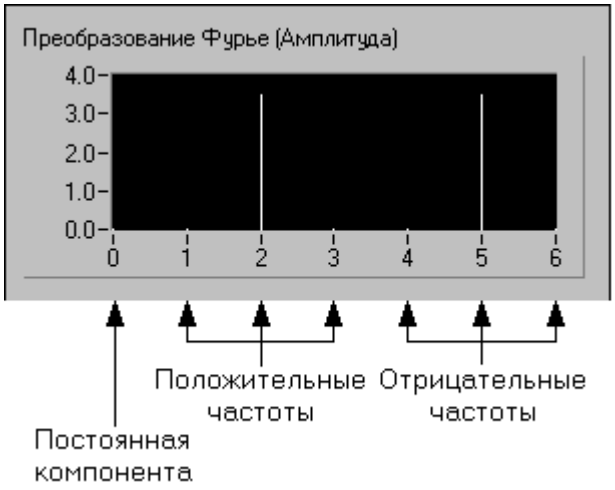
Когда N – нечетное, $N/2$ – не целое. Следовательно, на частоте Найквиста не будет компоненты.

Если N = 7, p = (N–1)/2 = (7–1)/2 = 3, тогда мы получим

X[0]DC
X[1] Δf
X[2]$2\Delta f$
X[3]$3\Delta f$
X[4]$-3\Delta f$
X[5]$-2\Delta f$
X[6]$-\Delta f$

X[1] и X[6], X[2] и X[5], X[3] и X[4] имеют попарно одинаковые амплитуды. Однако если X[1], X[2] и X[3] соответствуют положительным частотам, то X[4], X[5] и X[6] - отрицательным. Поскольку N – нечетное, то и нет компоненты на частоте Найквиста.

Следующий рисунок иллюстрирует предыдущую таблицу при $N = 7$.



Это также двухсторонне преобразование, поскольку вы можете видеть положительные и отрицательные частоты.

Быстрое преобразование Фурье

Прямое выполнение ДПФ в соответствии с уравнением 6-1 с N выборками данных требует примерно N^2 операций с комплексными числами, поэтому это процесс, отнимающий много времени. Однако когда размер последовательности равен некоторой степени 2

$N = 2^m$ для $m = 1, 2, 3, \ldots$

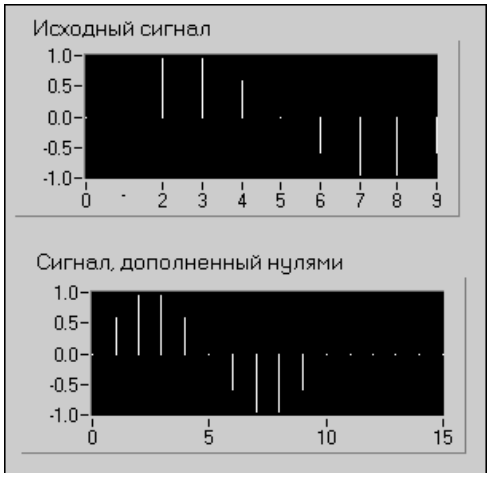
можно произвести вычисление ДПФ за, примерно, $N \log_2 (N)$ операций. Это делает вычисление ДПФ намного более быстрым. В литературе по ДПФ такие алгоритмы

называют быстрыми преобразованиями Фурье (БПФ). БПФ – быстрый алгоритм вычисления ДПФ, когда число выборок (N) является степенью 2.

Преимущества БПФ заключаются в скорости и эффективности использования памяти, поскольку ВП совершает преобразование сразу же. Размер входной последовательности должен быть равен числу 2 в какой-либо степени. ДПФ может эффективно обрабатывать последовательность любого размера, но ДПФ медленнее БПФ и использует больше памяти, поскольку во время обработки сохраняет промежуточные результаты.

Дополнение нулями

Как сделать, чтобы сделать размер входной последовательности был равным числу 2 в некоторой степени. Для этого используется техника, заключающаяся в добавлении нулей в конце этой последовательности, так чтобы полное количество выборок было равно числу 2 в более высокой степени. Например, у вас есть 10 выборок сигнала. Тогда вы можете добавить шесть нулей, чтобы полное число выборок равнялось 16 (= 2^4, степень двух). Следующий рисунок иллюстрирует эту идею.



Дополнение нулями выполняет не только ту функцию, что делает полное число выборок степенью 2, ускоряя вычисления с использованием БПФ, оно также помогает увеличить разрешение по частоте (вспомните, что $f = f_s/N$), увеличивая число выборок N.

C. Спектр мощности

ДПФ и БПФ действительного сигнала являются комплексными числами, имеющими действительную и мнимую части. Мощность в каждой частотной компоненте можно получить, возводя в квадрат амплитуду этой компоненты. Следовательно, мощность в *k-ой* частотной компоненте (*k-ый* элемент ДПФ/БПФ) выражается как $|X[k]|^2$. График, показывающий мощность каждой частотной компоненты, называется спектром мощности. Поскольку ДПФ/БПФ действительного сигнала – симметрично, то мощность на положительной частоте $k\Delta f$ равна мощности на соответствующей отрицательной частоте $-k\Delta f$, при этом постоянная компонента и компонента на частоте Найквиста не принимаются во внимание. Полная мощность постоянной компоненты и компоненты на частоте Найквиста равны $|X[0]|^2$ и $\left|X\left[\frac{N}{2}\right]\right|^2$ соответственно.

Потеря фазовой информации

Поскольку мощность получается возведением в квадрат амплитуды ДПФ/БПФ, спектр мощности всегда действителен, и всякая фазовая информация теряется. Чтобы выделить фазовую информацию, используйте ДПФ/БПФ, на выходе которых комплексные числа.

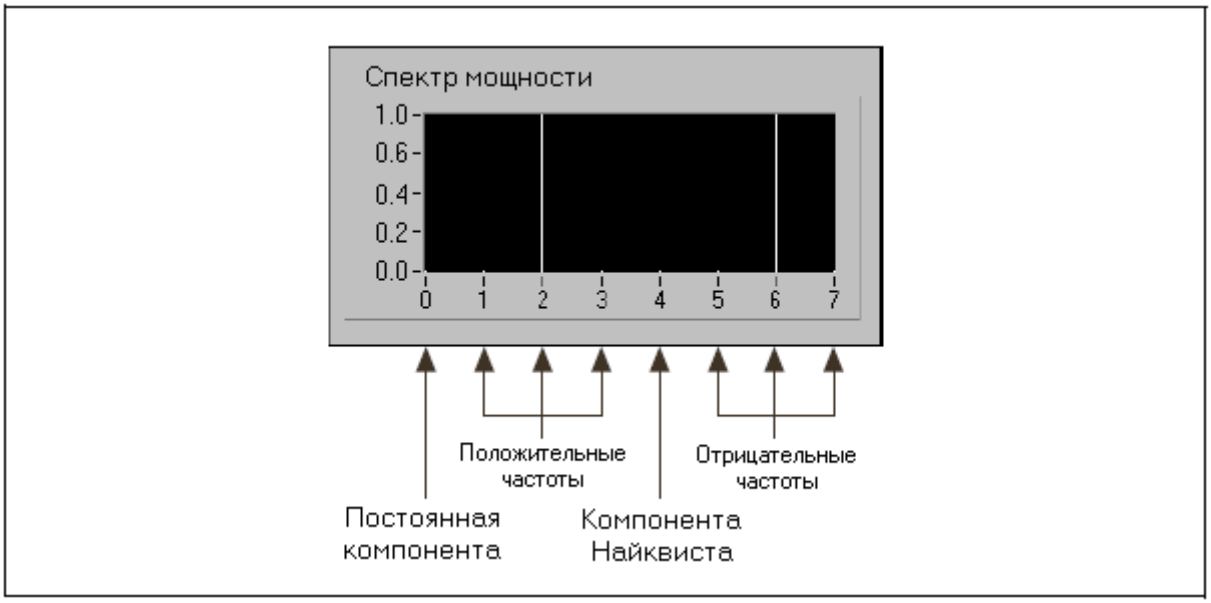
Спектр мощности можно использовать в тех приложениях, где фазовая информация не существенна, например, для вычисления спектра гармоник сигнала. Оно применяется для тестирования нелинейных систем, когда на их вход подают синусоидальный сигнал и смотрят мощность гармоник на выходе.

Частотный интервал между выборками

Частотный интервал между выборками равен Δf = fs/N. В следующей таблице спектр мощности сигнала x[n] обозначается как *Sxx*. Если *N* – четное, обозначим $p = \frac{N}{2}$. В таблице показан формат выходной последовательности *Sxx*, соответствующей спектру мощности.

Элемент массива	Интерпретация
Sxx[0]	Мощность постоянной компоненты
Sxx[1] = *Sxx*[N–1]	Мощность на частоте Δf
Sxx[2] = *Sxx*[N–2]	Мощность на частоте $2\Delta f$
Sxx[3] = *Sxx*[N–3]	Мощность на частоте $3\Delta f$
. . .	. . .
Sxx[p–2] = *Sxx*[N–(p–2)]	Мощность на частоте $(p–2)\Delta f$
Sxx[p–1] = *Sxx*[N–(p–1)]	Мощность на частоте $(p–1)\Delta f$
Sxx[p]	Мощность на частоте Найквиста

Следующий рисунок наглядно представляет информацию из предыдущей таблицы для синусоидального сигнала с амплитудой 2 V_{peak} (V_{pk}) и $N = 8$.



Спектр мощности вычисляется в единицах среднеквадратичного действующего напряжения в квадрате (V_{rms}^2). Так что если максимальная амплитуда входного сигнала равна 2 V_{pk}, то среднеквадратичное действующее значение равно $V_{rms} = \frac{2}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}$, то есть $V_{rms}^2 = 2$. В это значение вносят вклад поровну положительные и отрицательные компоненты, в результате получается график, показанный на предыдущем рисунке.

Если *N* – нечетное, положим p = (N – 1)/2. Следующая таблица показывает формат выходной последовательности *Sxx*, соответствующей спектру мощности.

Элемент массива	Интерпретация
Sxx[0]	Мощность постоянной компоненты
Sxx[1] = *Sxx*[N–1]	Мощность на частоте Δf
Sxx[2] = *Sxx*[N–2]	Мощность на частоте $2\Delta f$
Sxx[3] = *Sxx*[N–3]	Мощность на частоте $3\Delta f$
. . .	. . .
Sxx[p–2] = *Sxx*[N–(p–2)]	Мощность на частоте $(p-2)\Delta f$
Sxx[p–1] = *Sxx*[N–(p–1)]	Мощность на частоте $(p-1)\Delta f$
Sxx[p]	Мощность на частоте $p\Delta f$

Следующий рисунок иллюстрирует информацию предыдущей таблицы для *N* = 7.

Экспресс-ВП Измерения спектра

Экспресс-ВП Spectral Measurements (Измерения спектра), расположенный в палитре Signal Analysis, позволяет легко выполнять различные измерения спектра сигнала. Среди них – вычисление спектра мощности и максимальной амплитуды сигнала. Используйте конфигурационное окно этого ВП для выполнения вычислений максимальной амплитуды

(peak), среднеквадратичной амплитуды (RMS), спектра мощности (power spectrum) или спектральной плотности мощности (power spectral density) в обычных линейных единицах или децибелах. Дополнительно можно задать режим сглаживающих окон, параметры усреднения и фазу измерения спектра. Большую информацию о режимах сглаживающих окон можно найти в разделе *О спектральных утечках энергии и сглаживающих окнах* данного занятия.

Упражнение 6-1. Спектр мощности

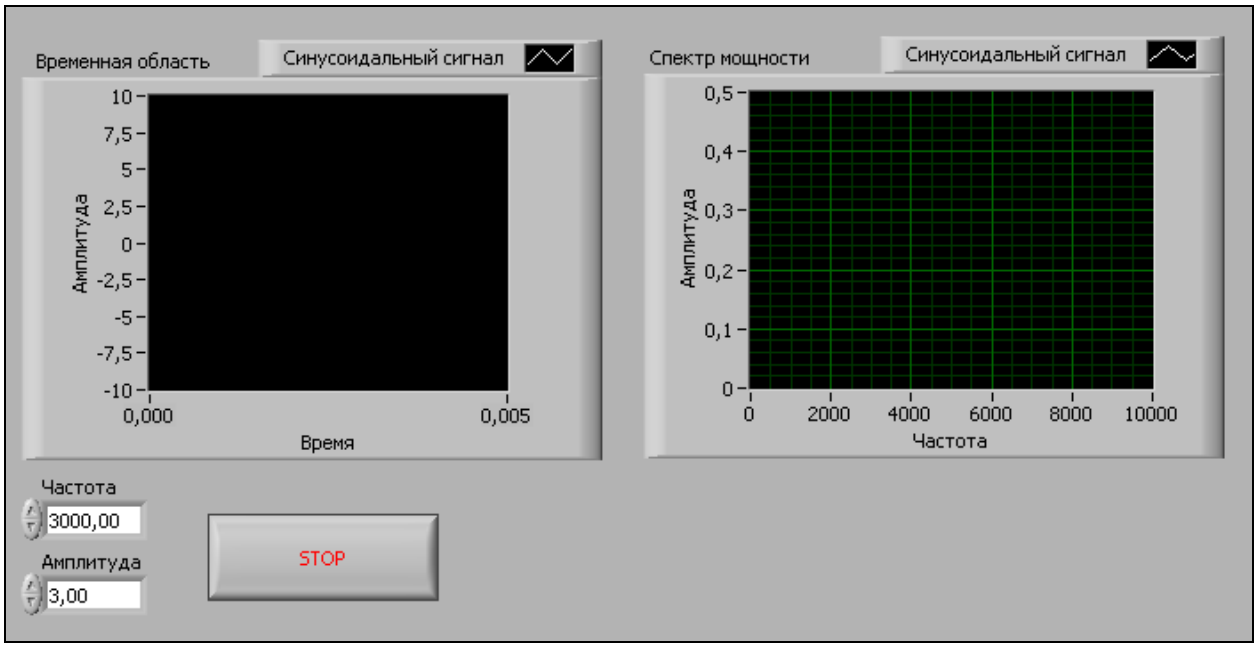
Задача: Создать ВП для определения спектра мощности сгенерированного сигнала.

БПФ – мощный вычислительный метод, который вы можете использовать для проведения спектрального анализа дискретных выборок данных, полученных, например, с помощью системы сбора данных. В данном упражнении используются экспресс виртуальные приборы для генерации сигнала и спектрального анализа данных.

Лицевая панель

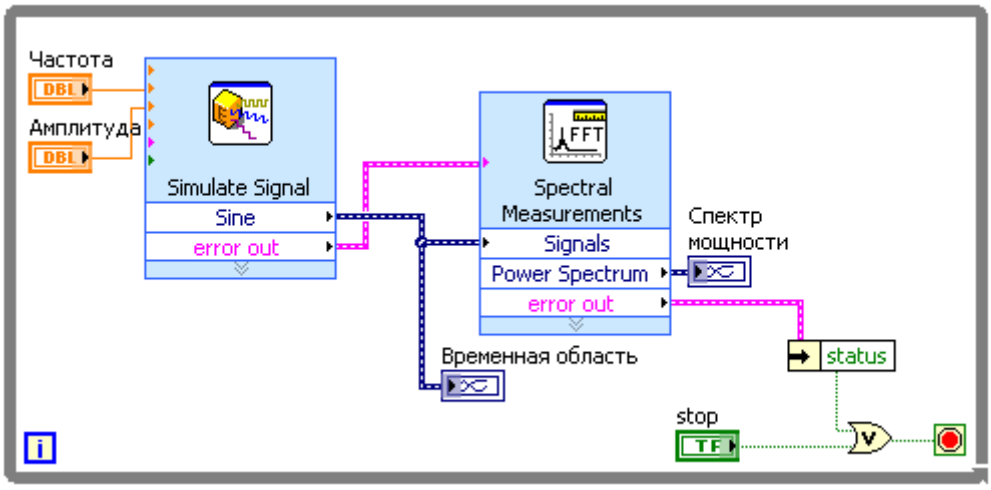
1. Откройте новый ВП.

2. Следующая лицевая панель будет следствием построения блок-диаграммы.

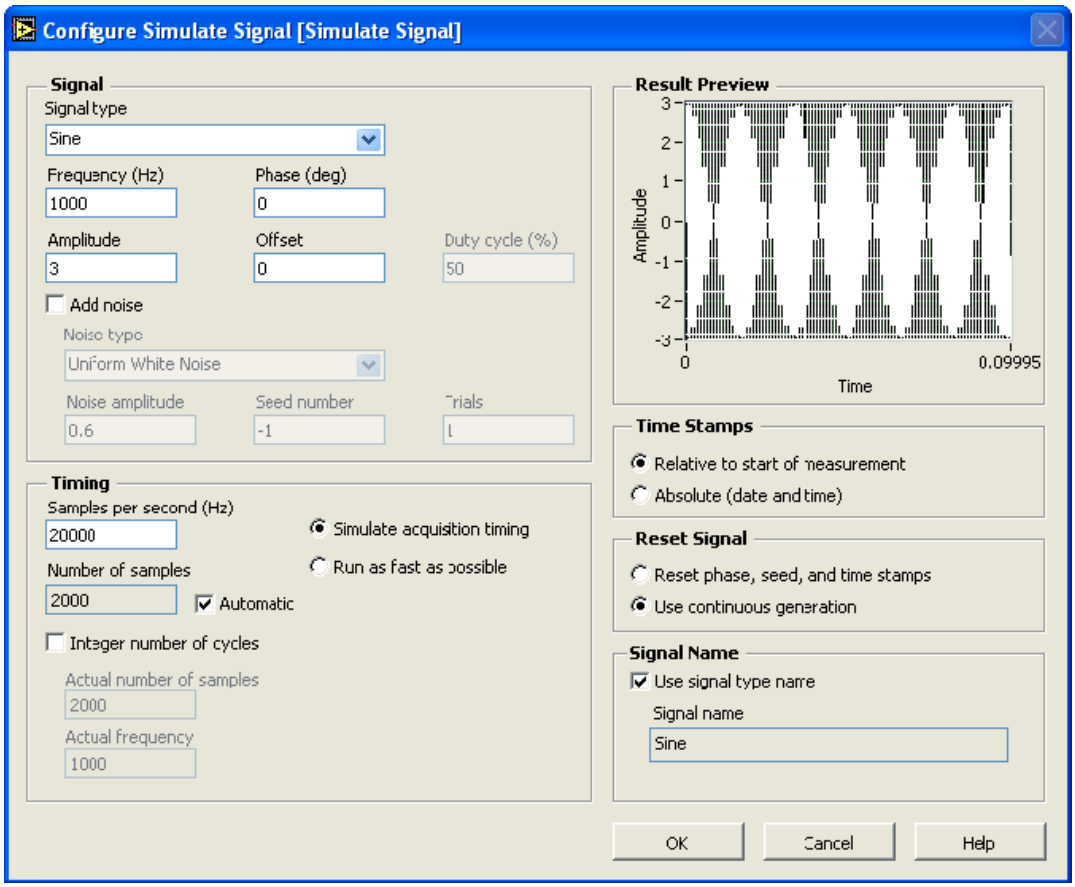


Блок-диаграмма

3. Постройте следующую блок-диаграмму.



a. Поместите экспресс-ВП Simulate Signal, расположенный в палитре **Functions»Signal Analysis**, на блок-диаграмму. Этот ВП создает выходной сигнал определенного типа. В появившемся диалоговом окне конфигуратора **Configure Simulate Signals** выберите настройки, показанные на следующем рисунке.



(1) Нажмите кнопку **OK** для выхода из диалогового окна.

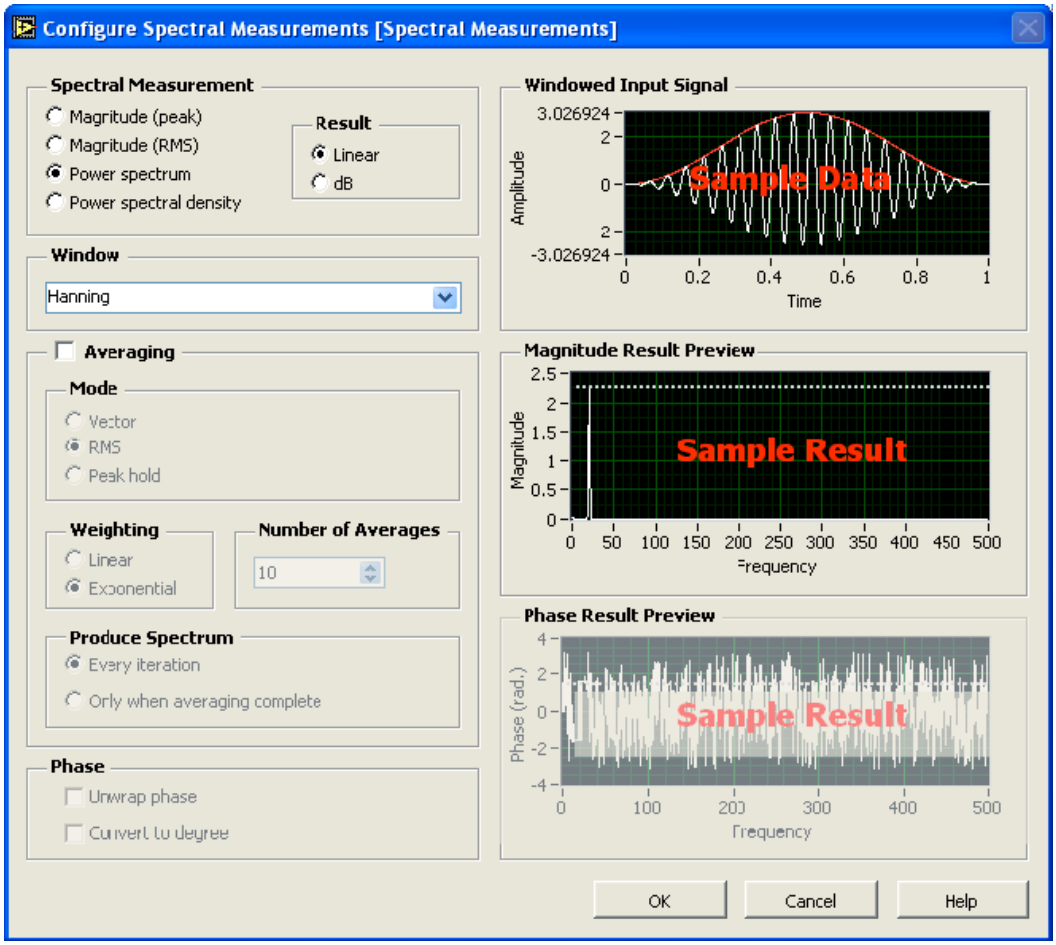
(2) Измените размер экспресс-ВП Simulate Signals для отображения вывода **error out**.

(3) Щелкните правой кнопкой мыши на входе **Frequency** и выберите

Create»Control из появившегося контекстного меню.

(4) Щелкните правой кнопкой мыши на входе **Amplitude** и выберите **Create»Control** из появившегося контекстного меню.

b. Поместите экспресс-ВП Spectral Measurements, расположенный в палитре **Functions»Signal Analysis**, на блок-диаграмму. Этот ВП вычисляет спектр мощности сигнала. В появившемся диалоговом окне конфигуратора **Configure Spectral Measurements** выберите настройки, показанные на следующем рисунке.



(1) Нажмите кнопку **OK** для выхода из диалогового окна.

(2) Измените размер экспресс-ВП Spectral Measurements для отображения вывода **error out**.

(3) Щелкните правой кнопкой мыши на входе **Power Spectrum** и выберите **Create»Graph Indicator** из появившегося контекстного меню.

c. Поместите логическую функцию Or (Или), расположенную в палитре **Functions»Arithmetic&Comparison»Express Boolean**, на блок-диаграмму.

	d. Поместите логическую функцию Unbundle by Name, расположенную в палитре **Functions»All Functions»Cluster**, на блок-диаграмму. Эта функция возвращает логическое значение статуса ошибки (error **status)**. При возникновении ошибки цикл по условию будет остановлен.

4. Сохраните ВП с именем `Power Spectrum Express.vi` в директории

`C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

5. Запустите ВП.

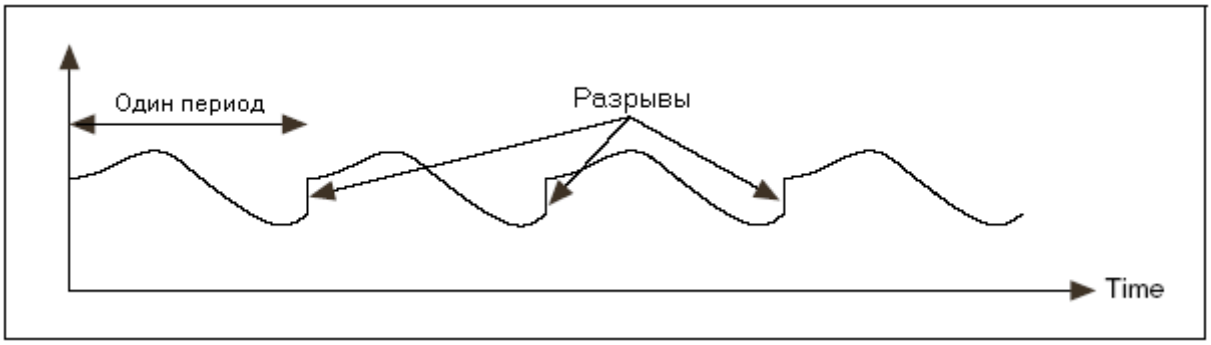
6. Измените частоту сигнала, генерируемого экспресс-ВП Simulate Signal. Обратите внимание на движение пика спектра мощности по графику.

7. После окончания работы сохраните и закройте ВП.

Конец упражнения 6-1

D. О спектральных утечках энергии и сглаживающих окнах

В реальных приложениях вы можете собрать только конечное количество выборок сигнала. При использовании ДПФ/БПФ с целью исследования частотного содержимого сигнала предполагается, что принимается один период данных периодически повторяющейся осциллограммы. Это иллюстрируется на следующем рисунке. Первый показанный период – тот, который оцифрован. Осциллограмма, соответствующая этому периоду, затем повторяется во времени для создания периодической осциллограммы.



Из-за предположения о периодичности осциллограммы возникают разрывы между соседними периодами, когда вы оцифровываете не целое число циклов. Эти искусственные разрывы появляются в спектре сигнала в виде набора компонент на очень больших частотах, причем этих частотных компонент нет в исходном сигнале. Их частота может превышать частоту Найквиста, и, как вы уже видели ранее, появится наложение спектров где-то между 0 и fs/2. Поэтому спектр, полученный при помощи ДПФ/БПФ, не будет реальным спектром исходного сигнала, но будет его «размазанной» версией, как будто энергия на одной частоте «просочилась» во все другие частотные компоненты. Это явление известно как утечка спектра.

Рисунок 6-1 показывает синусоидальный сигнал и соответствующее преобразование Фурье. Оцифрованный сигнал во временной области показан на первом графике. Поскольку преобразование Фурье предполагает периодичность, мы повторяем эту осциллограмму во времени. Периодическая осциллограмма синусоидального сигнала графика 1 показана на графике 2. Соответствующее спектральное представление показано на графике 3. Поскольку временной сигнал на графике 2 – периодичен и без разрывов, то его спектр – единственная линия с частотой синусоидального сигнала. Причина, по которой осциллограмма на графике 2 не содержит никаких разрывов, заключается в том, что мы оцифровали целое число циклов (в данном случае один) временной осциллограммы.

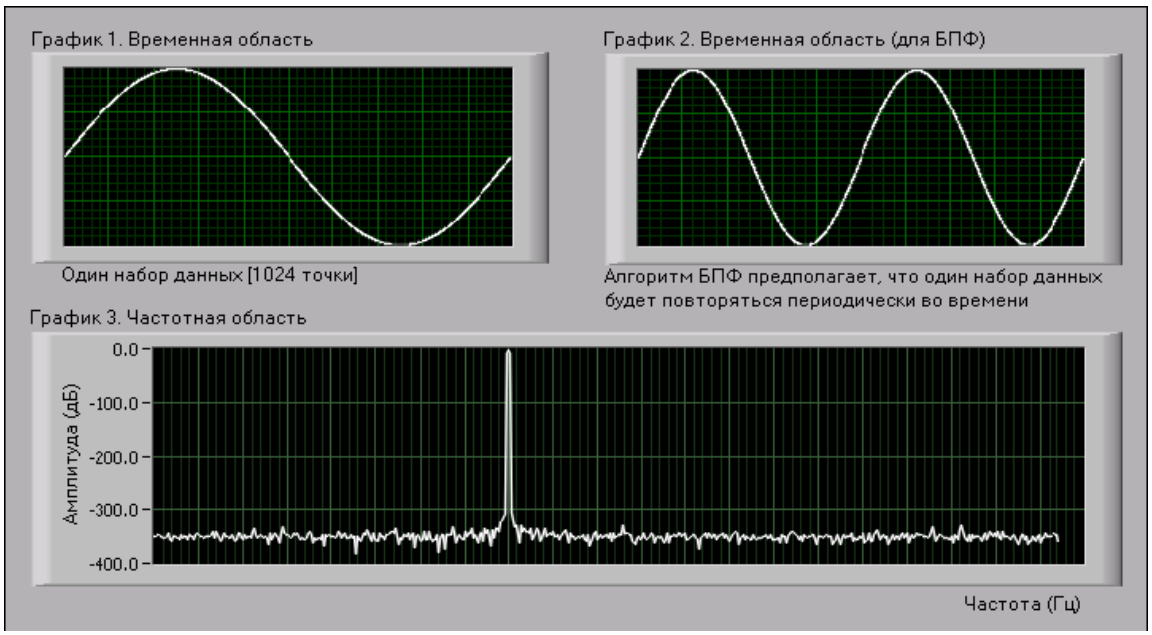


Рисунок 6-1. Синусоидальный сигнал и соответствующее преобразование Фурье.

На рисунке 6-2 мы видим спектральное представление в случае оцифровки не целого числа циклов временной осциллограммы, а именно 1.25. Первый график состоит теперь из 1.25 циклов синусоидального сигнала. Если вы повторите его периодически, то результирующая осциллограмма, показанная на втором графике, будет содержать разрывы. Соответствующий спектр показан на графике 3, и энергия в нем растеклась по большому диапазону частот. Это расплывание энергии – утечка спектра. Энергия «перетекла» из одной линии БПФ и «расплылась» по всем другим линиям.

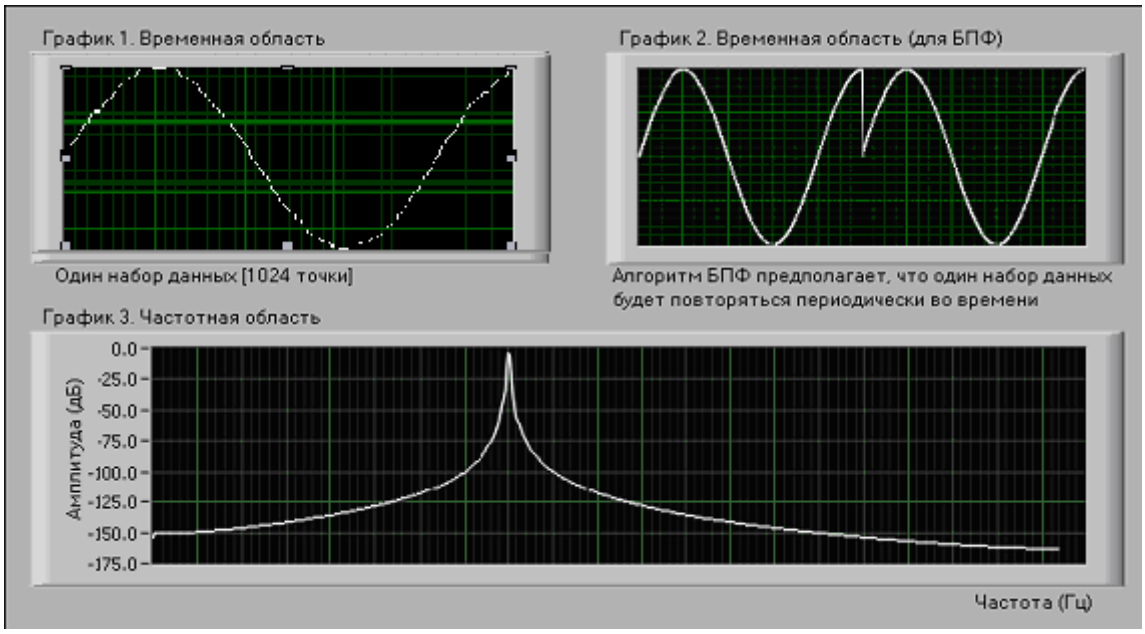


Рисунок 6-2. Спектральное представление в случае оцифровки не целого числа периодов сигнала.

Утечка существует вследствие конечного времени выборки входного сигнала. Одно из решений для преодоления утечки – это бесконечное время дискретизации сигнала, от $-\infty$ до $+\infty$, тогда в результате БПФ получим единственную линию с правильной частотой. Но поскольку мы ограничены конечным временем записи временного сигнала, для

уменьшения утечки спектра используется другая техника, известная как взвешивание с помощью финитной функции (windowing).

Величина утечки спектра зависит от амплитуды разрыва. Чем больше разрыв, тем больше утечка спектра, и наоборот. Чтобы уменьшить амплитуду разрывов на границах каждого из периодов, можно использовать взвешивание с помощью финитной функции. Оно состоит в умножении временной записи сигнала на оконную функцию с ограниченным носителем, чья амплитуда плавно меняется и постепенно стремиться к нулю на краях. Это показано на рисунке 6-3, где исходный сигнал взвешивается с использованием окна Хэмминга (Hamming window). Временная осциллограмма взвешенного сигнала постепенно уменьшается до нуля на концах. При выполнении преобразования Фурье или спектрального анализа данных конечной длительности можно использовать оконные функции для уменьшения сдвига краев оцифрованной осциллограммы. Сглаживающая оконная функция, примененная к данным перед их преобразованием в частотную область, уменьшает утечку спектра.

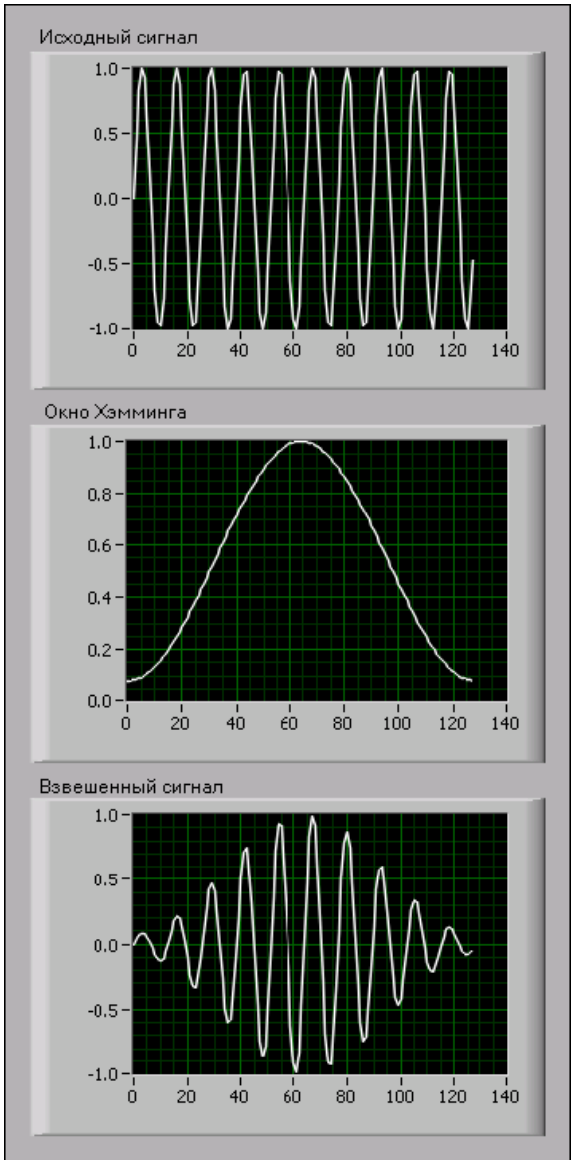


Рисунок 6-3. Временной сигнал, взвешенный с использованием окна Хэмминга

Если запись временного сигнала содержит целое число циклов, как показано на рисунке 6-1, то предположение периодичности не приведет к возникновению разрывов и,

следовательно, к утечке спектра. Проблема возникает только при наличии не целого числа циклов.

Существует несколько причин использования сглаживающих окон:

• Определение длительности наблюдения

• Уменьшение утечки спектра

• Разделение двух сигналов с сильно отличающимися амплитудами, но очень близкими частотами.

E. Характеристики различных типов спектральных и временных окон

Применение окна или взвешивание сигнала во временной области эквивалентно умножению этого сигнала на вырезающую функцию. Поскольку умножение во временной области эквивалентно свертке в частотной области, то спектр взвешенного сигнала равен свертке спектра исходного сигнала и спектра окна. Взвешивание изменяет форму сигнала во временной области и влияет на спектр, который мы наблюдаем.

В зависимости от приложения один тип окон может быть полезнее других. Используя экспресс-ВП Spectral Measurements, вы можете выбрать следующие типы окон: rectangular (прямоугольное – отсутствие окна), Hanning, Hamming, Blackman-Harris, Exact Blackman, Blackman, Flat Top, 4 Term B-Harris, 7 Term B-Harris и Low Sidelobe. В палитре **Analyze»Signal Processing»Windows** можно дополнительно найти следующие функции окон: Exponential, General Cosine, Cosine Tapered, Force, Kaiser-Bessel и Triangle.

Rectangular (Прямоугольное)

Прямоугольное окно имеет значение, равное единице, на всем временном интервале. Математически это может быть записано как

$w[n] = 1.0$ для $n = 0, 1, 2, ..., N - 1$
где N – это длина окна. Применение прямоугольного окна эквивалентно не использованию окна, поскольку прямоугольная функция просто обрезает сигнал в пределах ограниченного временного интервала. Прямоугольное окно имеет наибольшую величину утечки спектра. На рисунке 6-4 показан пример прямоугольного окна при $N = 32$.

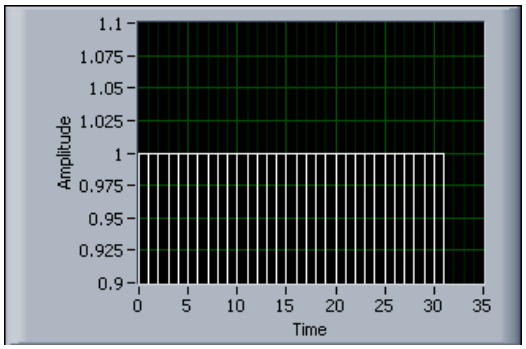


Рисунок 6-4. Прямоугольное окно.

Прямоугольное окно применяется для анализа переходных процессов, имеющих длительность меньше длины окна. Оно также используется для отслеживания порядков, куда подстраивается частота дискретизации в зависимости от скорости вращения вала машины. В этом случае, оно помогает обнаружить главную моду и гармоники вибрации машины.

Hanning

Окно Хэнинга (Hanning) имеет форму, похожую на половину периода косинуса. Оно задается выражением:

$w[n] = 0.5 - 0.5 \cos(2\pi n/N)$ для $n = 0, 1, 2, ..., N - 1$

Рисунок 6-5 показывает окно Хэнинга при $N = 32$.

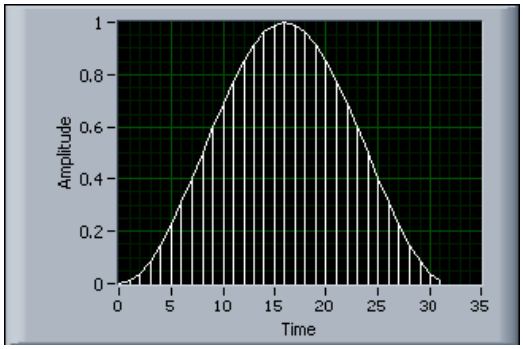


Рисунок 6-5. Окно Хэнинга

Окно Хэнинга применяется для анализа переходных процессов, имеющих длительность больше длительности окна, а также для других универсальных приложений.

Hamming

Окно Хэмминга (Hamming) – это модифицированное окно Хэнинга. Его форма также напоминает косинус и может быть задана следующим выражением:

$w[n] = 0.54 – 0.46 \cos(2\pi n/N)$ для $n = 0, 1, 2, ..., N – 1$

Рисунок 6-6 показывает окно Хэмминга при $N = 32$.

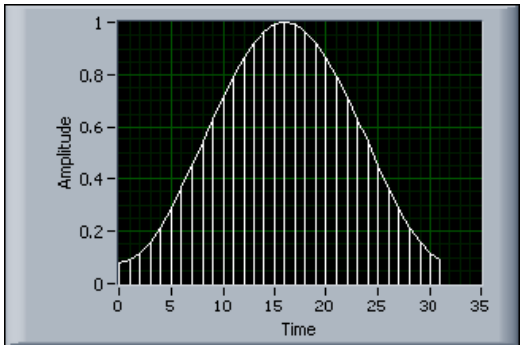


Рисунок 6-6. Окно Хэмминга

Окна Хэнинга и Хэмминга очень похожи. Но во временной области окно Хэмминга не подходит к нулю вблизи границ так близко, как окно Хэнинга.

Blackman–Harris

Окно Блэкмана-Харриса (Blackman-Harris), как и окно Хэнинга, применяется для измерения очень слабых компонент на фоне большого входного сигнала, таких как нелинейные искажения.

Окно Блэкмана-Харриса применяет трехсоставное взвешивание к входному сигналу. Оно задается формулой:

$w[n] = 0.422323 – 0.49755 \cos(2\pi n/N) + 0.07922 \cos(4\pi n/N)$

для $n = 0, 1, 2, ..., N - 1$

Рисунок 6-7 показывает пример окна Блэкмана-Харриса при $N = 32$.

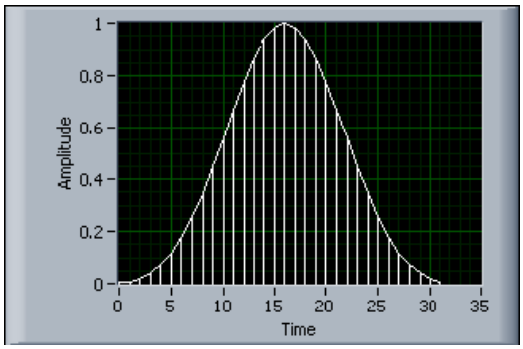


Рисунок 6-7. Окно Блэкмана-Харриса

Exact Blackman

Окно Exact Blackman похоже на окно Блэкмана-Харриса, но с меньшим спадом на краях.

Оно задается как:

$w[n] = [a_0 - a_1 \cos(2\pi n/N) + a_2 \cos(4\pi n/N)]$

для $n = 0, 1, 2, ..., N - 1$

$a_0 = 7938/18608$

$a_1 = 9240/18608$

$a_2 = 1430/18608$

Рисунок 6-8 показывает пример окна Exact Blackman при $N = 32$.

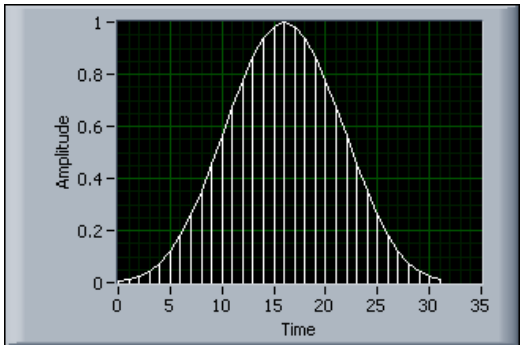


Рисунок 6-8. Окно Exact Blackman

Blackman

Окно Blackman похоже на окна Хэнинга и Хэмминга, но имеет дополнительное косинусоидальное слагаемое для большего уменьшения эффекта волнистости. Оно

определяется как:

$w[n] = 0.42 – 0.5 \cos(2\pi n/N) + 0.08 \cos(4\pi n/N)$

для $n = 0, 1, 2, ..., N – 1$

Рисунок 6-9 показывает окно Blackman при $N = 32$.

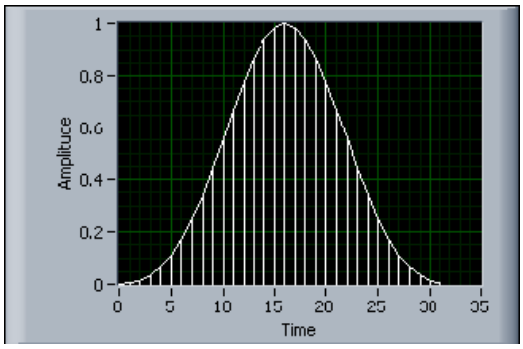


Рисунок 6-9. Окно Blackman

Flat Top

Окно с плоской вершиной (Flat Top) содержит больше слагаемых с косинусом, чем все другие окна, изученные нами. Второе слагаемое обуславливает спад функции ниже нуля.

Оно может быть задано как:

$w[n] = 0.21557895 – 0.41663158 \cos(2\pi n/N) + 0.277263158 \cos(4\pi n/N) – 0.083578947 \cos(6\pi n/N) + 0.006947368 \cos(8\pi n/N)$

для $n = 0, 1, 2, ..., N – 1$

Рисунок 6-10 показывает окно с плоской вершиной при $N = 32$.

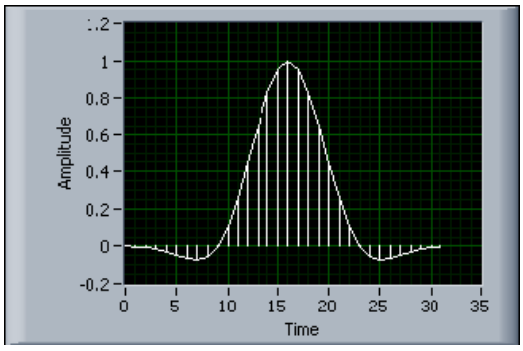


Рисунок 6-10. Окно с плоской вершиной.

4 Term B-Harris

Окно 4 Term B-Harris – развитие окна Блэкмана-Харриса, добавляющее дополнительное слагаемое с косинусом.

Его можно задать формулой:

$w[n] = 0.35875 - 0.48829 \cos(2\pi n/N)$
$+ 0.14128 \cos(4\pi n/N) - 0.01168 \cos(6\pi n/N)$

для $n = 0, 1, 2, ..., N - 1$

Рисунок 6-11 показывает окно 4 Term B-Harris при $N = 32$.

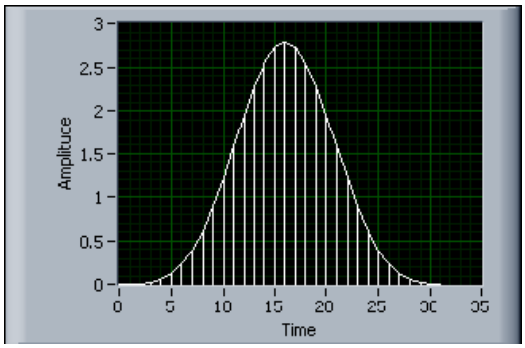


Рисунок 6-11. Окно 4 Term B-Harris

7 Term B-Harris

Окно 7 Term B-– развитие окна Блэкмана-Харриса, добавляющее четыре дополнительных слагаемых с косинусом.

Оно определяется как:

$w[n] = 0.27105 - 0.43329 \cos(2\pi n/N) + 0.21812 \cos(4\pi n/N)$
$- 0.06593 \cos(6\pi n/N) + 0.01081 \cos(8\pi n/N)$
$- 7.7658E\text{-}4 \cos(10\pi n/N) + 1.3887E - 5 \cos(12\pi n/N)$

для $n = 0, 1, 2, ..., N - 1$.

Рисунок 6-12 показывает окно 7 Term B-Harris при $N = 32$.

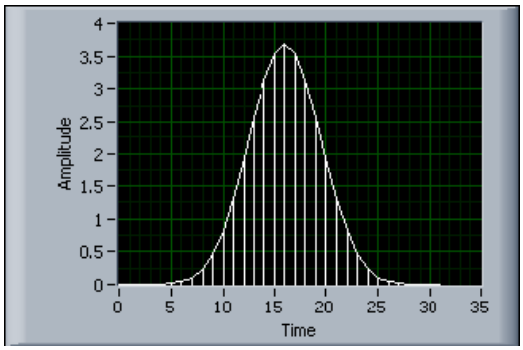


Рисунок 6-12. Окно 7 Term B-Harris

Low Sidelobe

Окно Low Sidelobe еще больше сужает размер главного пика спектра мощности.

Оно определяется как:

$w[n] = 0.323215218 – 0.471492057 \cos(2\pi n/N) + 0.17553428 \cos(4\pi n/N) – 0.028497078 \cos(6\pi n/N) + 0.001261367 \cos(8\pi n/N)$

для $n = 0, 1, 2, ..., N – 1$

Рисунок 6-13 показывает окно Low Sidelobe при $N = 32$.

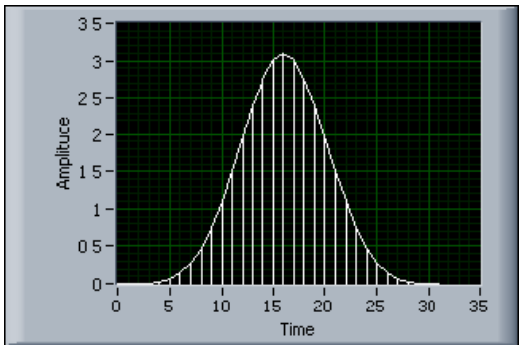


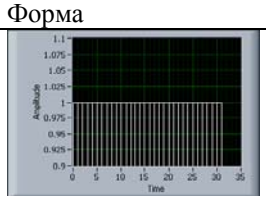
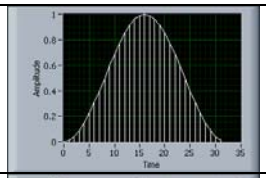
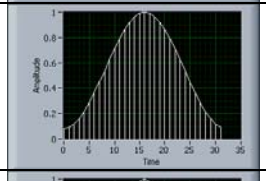
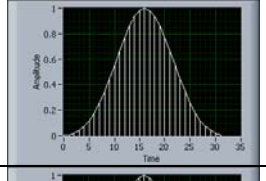
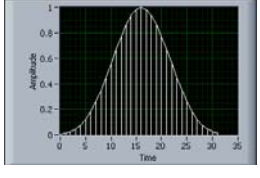
Рисунок 6-13. Окно Low Sidelobe

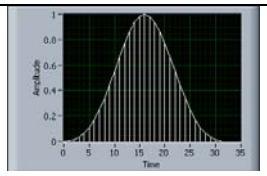
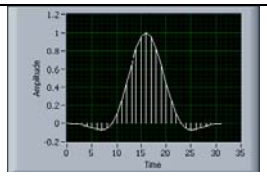
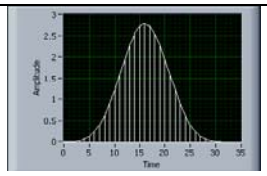
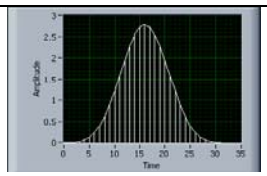
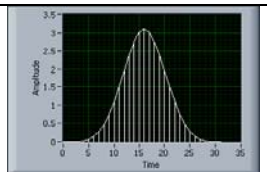
F. Критерии выбора типа окна

Выбор типа окна зависит от типа имеющего сигнала и от того, что вы хотите в нем исследовать. Правильный выбор окна требует знания исследуемого сигнала. Следующая таблица показывает различные типы сигналов и окна, которые можно применять для их обработки.

Тип сигнала	Окно
Переходная характеристика, чья длительность меньше длины окна	Прямоугольное
Переходная характеристика, чья длительность больше длины окна	Хэнинга
Универсальные приложения	Хэнинга
Отслеживание порядков мод	Прямоугольное
Системный анализ (измерения частотного отклика)	Хэнинга (для случайного возбуждения), прямоугольное (для псевдослучайного возбуждения)
Разделение двух мод с очень близкими частотами, но сильно отличающимися амплитудами	Kaiser-Bessel
Разделение двух мод с очень близкими частотами и почти одинаковыми амплитудами	Прямоугольное

Если у вас недостаточно априорных знаний о сигнале, проверка различных вариантов окон поможет выбрать лучшее.

Окно	Уравнение	Форма	Применения
Прямоугольное	$w[n] = 1.0$		Переходная характеристика, чья длительность меньше длины окна, отслеживание порядков мод, разделение двух мод с очень близкими частотами и почти одинаковыми амплитудами, исследование отклика системы
Хэнинга	$w[n] = 0.5 - 0.5 \cos(2\pi n/N)$		Универсальные приложения, системный анализ, переходная характеристика, чья длительность больше длины окна,
Хэмминга	$w[n] = 0.54 - 0.46 \cos(2\pi n/N)$		
Блэкмана-Харриса	$w[n] = 0.422323 - 0.49755 \cos(2\pi n/N) + 0.07922 \cos(4\pi n/N)$		Аналогично Blackman
Exact Blackman	$w[n] = 7938/18608 - 9240/18608 \cos(2\pi n/N) + 1430/18608 \cos(4\pi n/N)$		Аналогично Blackman

Blackman	$0.42 - 0.5\cos(2\pi n/N) + 0.08\cos(4\pi n/N)$		Переходные характеристики, аналогично окнам Хэнинга и Хэмминга, но содержит дополнительное слагаемое с косинусом для уменьшения волнистости
С плоской вершиной	$w[n] = 0.21557895 - 0.41663158\cos(2\pi n/N) + 0.277263158\cos(4\pi n/N) - 0.083578947\cos(6\pi n/N) + 0.006947368\cos(8\pi n/N)$		Точное измерение амплитуды отдельной моды в отсутствии близлежащих частотных компонент
4 Term B-Harris	$w[n] = 0.35875 - 0.48829\cos(2\pi n/N) + 0.14128\cos(4\pi n/N) - 0.01168\cos(6\pi n/N)$		Аналогично Blackman
7 Term B-Harris	$w[n] = 0.27105 - 0.43329\cos(2\pi n/N) + 0.21812\cos(4\pi n/N) - 0.06593\cos(6\pi n/N) + 0.01081\cos(8\pi n/N) - 7.7658E\text{-}4\cos(10\pi n/N) + 1.3887E-5\cos(12\pi n/N)$		Аналогично Blackman
Low Sidelobe	$w[n] = 0.323215218 - 0.471492057\cos(2\pi n/N) + 0.17553428\cos(4\pi n/N) - 0.028497078\cos(6\pi n/N) + 0.001261367\cos(8\pi n/N)$		

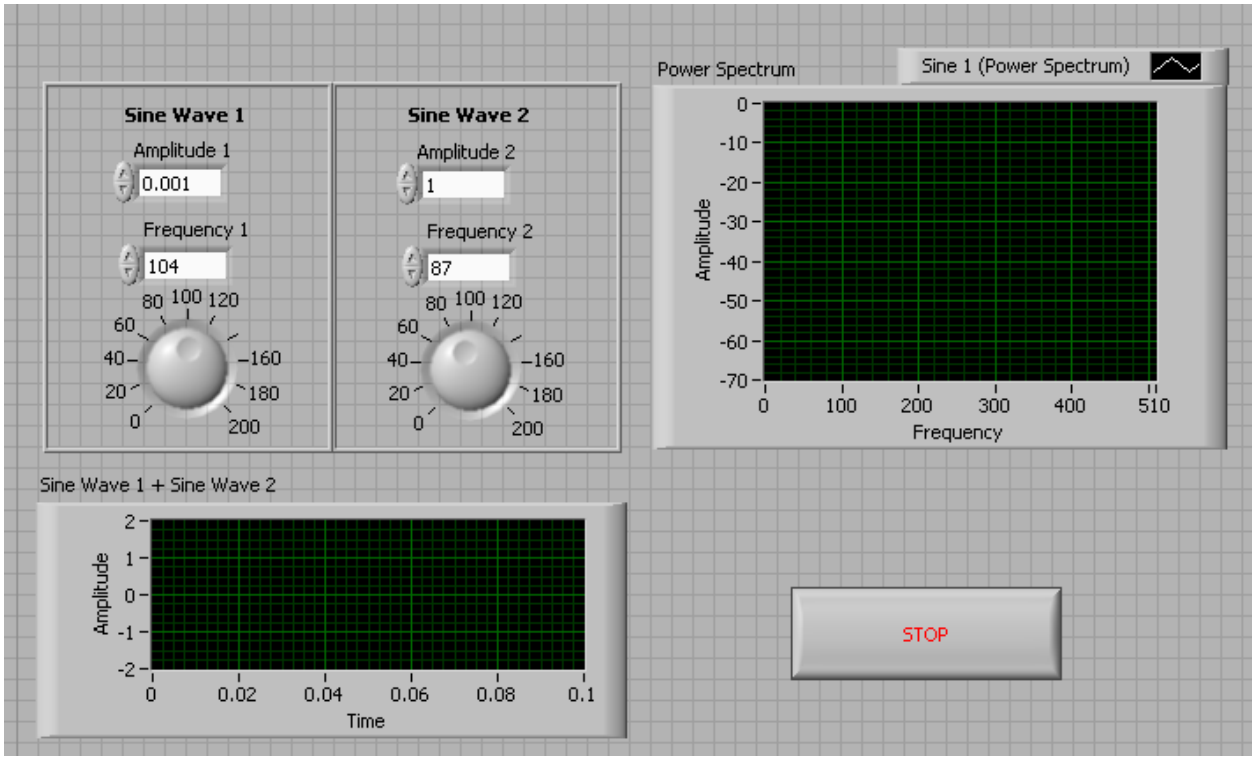
Упражнение 6-2. ВП Сравнение окон

Задача: создать ВП, который бы смог отделить два синусоидальных сигнала с очень близкими частотами, но сильно отличающимися амплитудами.

В данном упражнении складываются два синусоидальных сигнала различных амплитуд и преобразуются в частотную область. Первый сигнал имеет амплитуду, много меньшую второго. В частотной без использования взвешивания невозможно различить эти два синусоидальных сигнала. Используя подходящее окно, можно четко различить пики в частотной области, соответствующие двум синусоидам. График сигналов в частотной области показывает результаты, так что вы можете сравнить эффект применения различных взвешивающих функций.

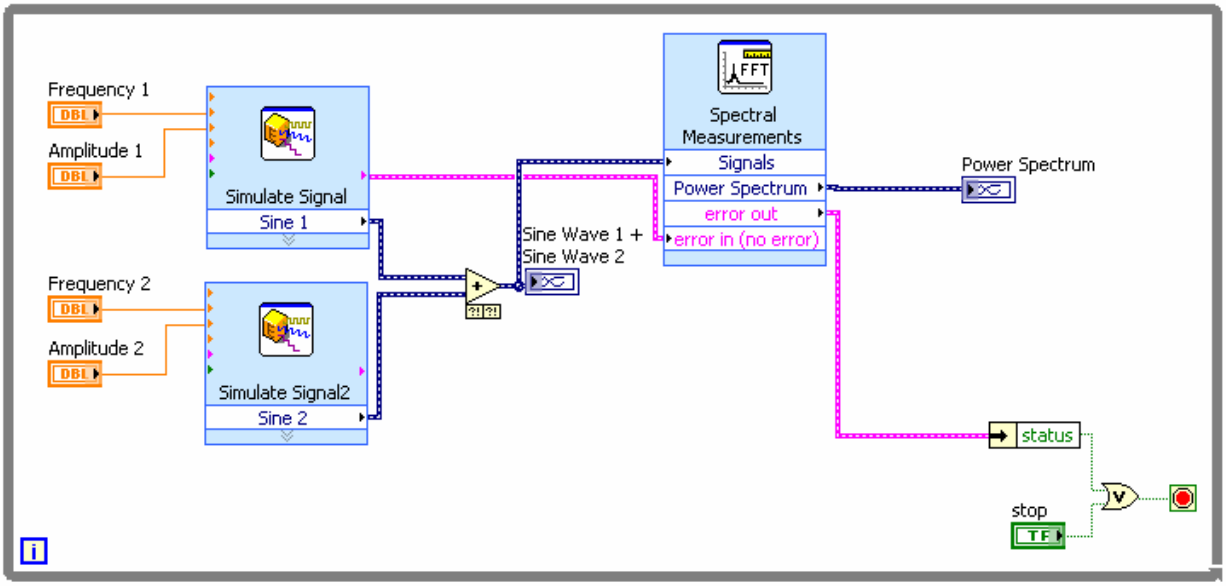
Лицевая панель

1. Откройте новый ВП и постройте следующую лицевую панель.



Блок-диаграмма

2. Создайте следующую блок-диаграмму.



a. Поместите экспресс-ВП Simulate Signal, расположенный в палитре **Functions»Signal Analysis**, на блок-диаграмму. Этот экспресс-ВП генерирует сигнал определенного типа, в данном случае синусоиду. В появившемся диалоговом окне конфигуратора **Configure Simulate Signals** установите **Samples per Second (Hz)** равным `1000`, уберите отметку из окошка метки **Automatic** и введите значение `1000` для **Number of Samples**. Остальные значения оставьте по умолчанию. Нажмите кнопку **OK** для выхода из диалогового окна.

b. Поместите экспресс-ВП Spectral Measurements, расположенный в палитре **Functions»Signal Analysis**, на блок-диаграмму. Этот ВП выполняет БПФ входного сигнала. В появившемся диалоговом окне конфигуратора **Configure Spectral Measurements** выберите **Power Spectrum**, установите **Result** в **dB**, выберите **None** из выпадающего меню **Window** (окно) и уберите отметку из окошка метки **Averaging** (Усреднение). Нажмите кнопку **OK** для выхода из диалогового окна.

3. Сохраните ВП с именем `Window Comparison.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

4. Переключитесь на лицевую панель. Используя числовые элементы управления, установите амплитуду первого синусоидального сигнала равной `0.001`, а второго – `1.000`. Используя ручки управления, установите частоту первого синусоидального сигнала равной примерно `70`, а частоту второго вблизи `60`. Подстройка частоты второго сигнала ручкой управления приведет к тому, что пик с меньшей амплитудой будет приближаться к пику с большей амплитудой на графике частотной области.

5. Обратите внимание на графике, что при приближении частоты сигнала с меньшей амплитудой (Синусоидальный сигнал 1) к частоте сигнала с большей амплитудой (Синусоидальный сигнал 2) пик, соответствующий маленькому сигналу невозможно заметить. Разрывы при периодизации сигналов приводят к тому, что спектры расширяются. Сигналы с меньшей амплитудой теряются в побочных максимумах сигнала с большей амплитудой.

6. Остановите ВП и переключитесь на блок-диаграмму. Дважды щелкните кнопкой мыши на экспресс-ВП Spectral Measurements и выберите различные функции окон.

7. Переключитесь на лицевую панель и запустите ВП.

8. Сравните различные функции окон, выбирая другие окна для экспресс-ВП Spectral Measurements. Какое из них позволяет различить две частотные компоненты?

9. Остановите и закройте ВП после окончания работы с ним.

Конец упражнения 6-2

G. Фильтрация

Фильтрация – процесс, при помощи которого изменяют частотное содержимое сигнала. Это одна из наиболее часто используемых техник обработки сигналов. Ежедневные примеры фильтрации мы видим в стерео системах, где есть ручки управления басами и верхними частотами. Ручка управления басами изменяют низкочастотное содержимое сигнала, в то время как управление верхами изменяют высокочастотные компоненты сигнала. Вращая эти ручки, вы в действительности фильтруете аудио сигнал. Некоторыми другими приложениями, где полезна фильтрация, являются удаление помех и прореживание (низкочастотная фильтрация сигнала и уменьшение частоты выборки).

H. Идеальные фильтры

Фильтры изменяют или удаляют нежелательные частоты. В зависимости от частотного диапазона, в котором они пропускают либо осклабляют, фильтры могут быть классифицированы на следующие типы:

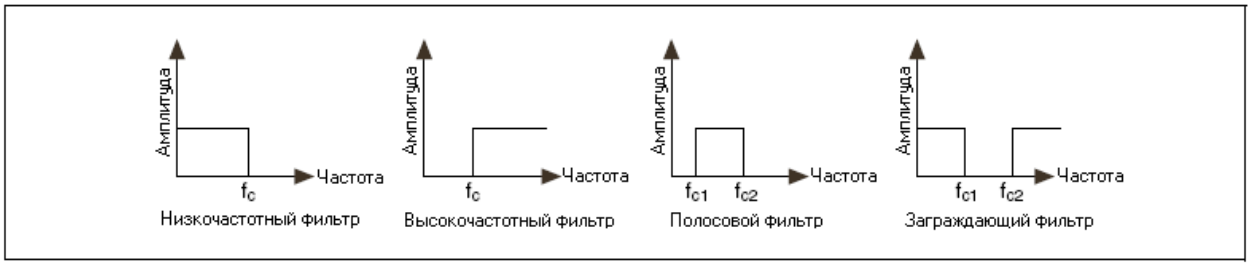
• Низкочастотный фильтр (ФНЧ – фильтр нижних частот) (lowpass) пропускает низкие частоты и ослабляет высокие.

• Высокочастотный фильтр (ФВЧ – фильтр верхних частот) (highpass) пропускает высокие частоты и ослабляет низкие.

• Полосовой фильтр (ПФ) (bandpass) пропускает определенную полосу частот.

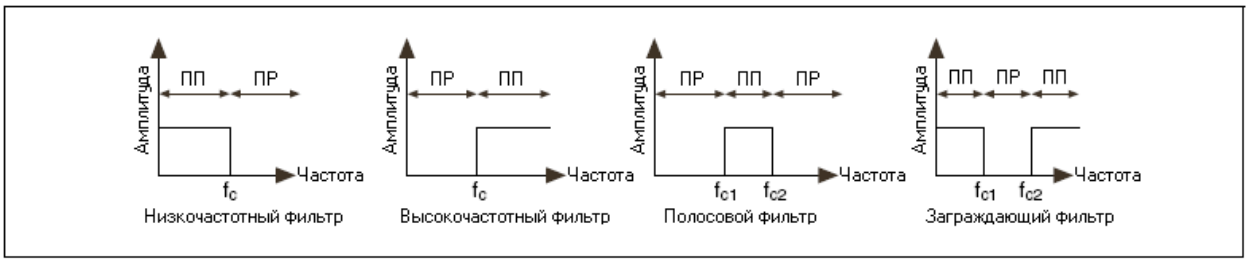
• Заграждающий фильтр (bandstop) ослабляет определенную полосу частот.

Следующий рисунок иллюстрирует идеальный частотный отклик этих фильтров.



ФНЧ пропускает все частоты ниже f_c, ФВЧ пропускает все частоты выше f_c. Полосовой фильтр пропускает все частоты в диапазоне между f_{c1} и f_{c2}, а заграждающий фильтр ослабляет все частоты в диапазоне между f_{c1} и f_{c2}. Частоты f_c, f_{c1} и f_{c2} называются частотами среза фильтра. При создании фильтра вам необходимо задать эти частоты среза фильтра.

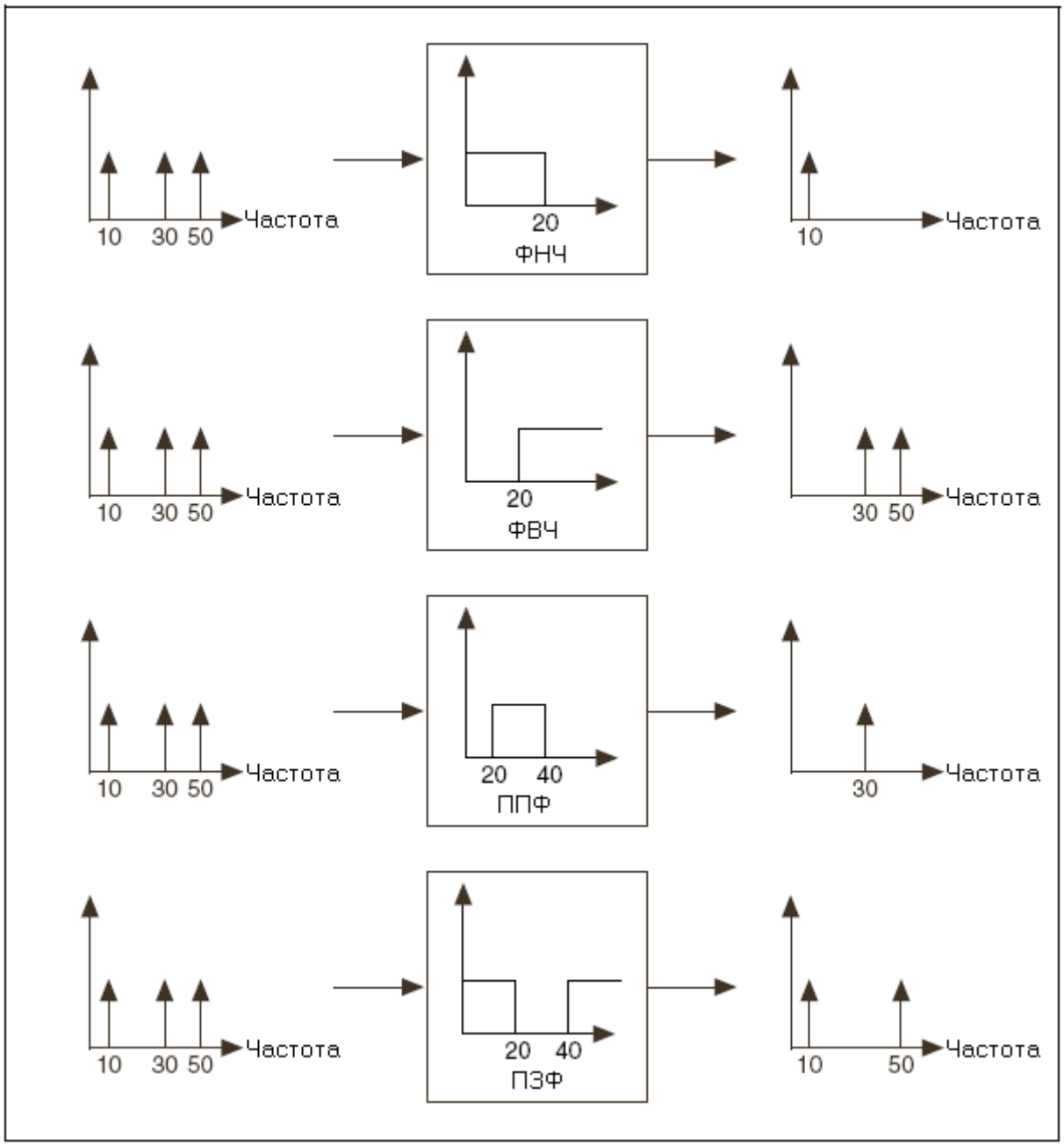
Частотный диапазон компонент, проходящих через фильтр, называют полосой пропускания фильтра (ПП). Идеальный фильтр имеет коэффициент усиления равный единице (0 дБ) в полосе пропускания, так что амплитуда сигнала не нарастает и не уменьшается. Полоса режекции (ПР) соответствует диапазону частот, которые вообще не проходят через фильтр и отсекаются (ослабляются). Следующий рисунок показывает полосу пропускания и режекции различных типов фильтров.



ФНЧ и ФВЧ имеют по одной полосе пропускания и ослабления, полосовой фильтр имеет одну полосу пропускания и две полосы режекции, а заграждающий фильтр имеет две полосы пропускания и одну режекции.

Влияние фильтров на частотное содержимое сигнала

Сигнал, содержащий частоты 10 Гц, 30 Гц и 50 Гц, пропускают через ФНЧ, ФВЧ, полосовой фильтр и заграждающий фильтр. ФВЧ и ФНЧ имеют частоты среза равными 20 Гц, а полосовой и заграждающий фильтры 20 и 40 Гц. Следующий рисунок иллюстрирует выходной сигнал каждого из фильтров.

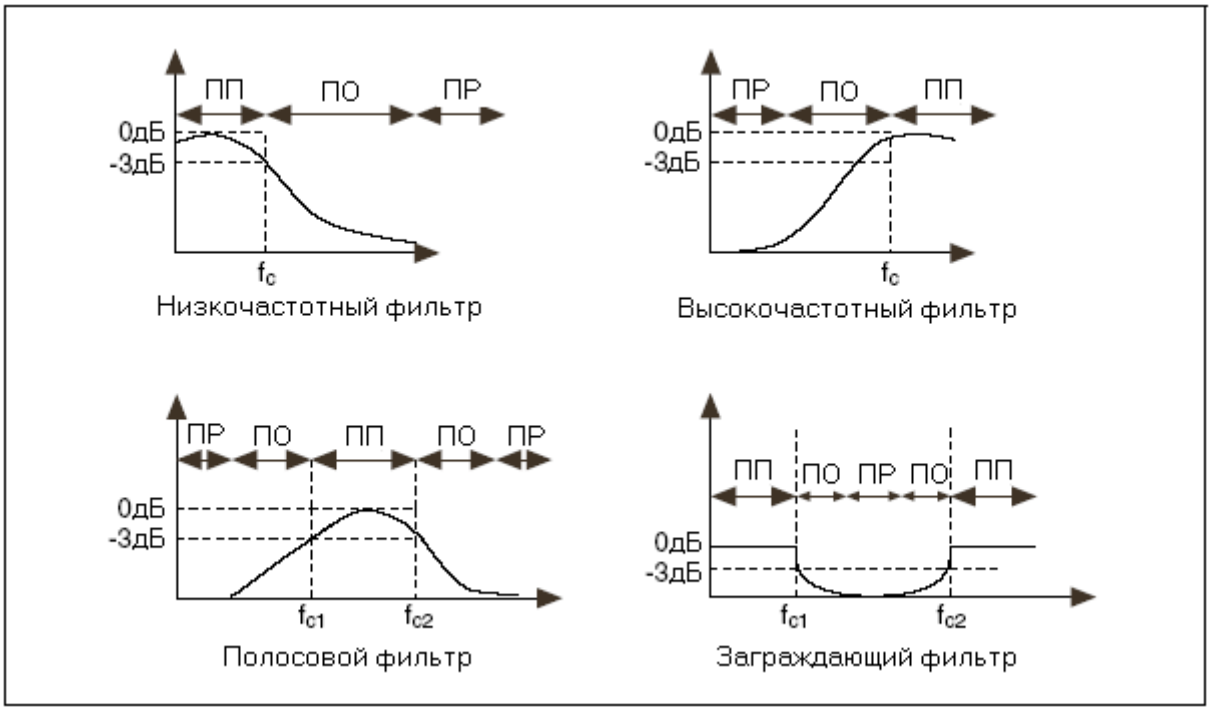


I. Реальные (неидеальные) фильтры

В идеальном случае фильтр должен иметь единичный коэффициент усиления (0 дБ) в ПП и нулевой коэффициент усиления (- ∞ дБ) в ПР. Однако в реальных приложениях не все из этих критериев могут быть выполнены. На практике всегда существует конечная переходная область между ПП и ПР. В этой области коэффициент усиления (КУ) фильтра постепенно меняется от единицы (0 дБ) в ПП до нуля (- ∞ дБ) в ПР.

Переходная полоса фильтра

Фильтр должен иметь единичный КУ (0 дБ) в ПП и нулевой КУ (- ∞ дБ) в ПР. Однако в реальных приложениях не все из этих критериев могут быть выполнены. На практике всегда существует конечная переходная область между ПП и ПР. В этой области коэффициент усиления (КУ) фильтра постепенно меняется от единицы (0 дБ) в ПП до нуля (- ∞ дБ) в ПР. Следующая иллюстрация показывает ПП, ПР и переходную область (ПО) различных типов неидеальных фильтров. Полосой пропускания становится частотный диапазон, в котором КУ фильтра меняется от 0 дБ до -3 дБ. Хотя наиболее часто используется диапазон в -3 дБ, но в зависимости от приложения могут использоваться другие значения (–0.5 дБ, –1 дБ и так далее).



Неравномерность полосы пропускания и ослабление в полосе режекции

Во многих приложениях в полосе пропускания вполне приемлемы незначительные изменения коэффициента усиления фильтра, немного отличающиеся от единицы. Эти изменения в полосе пропускания называются пульсациями или неравномерностью полосы пропускания и представляют собой разницу между действительным КУ и желаемым КУ, равным единице. Подавление (ослабление) в полосе режекции на практике также не может быть бесконечным, и вы должны указать значение режекции, которое вам

необходимо. Неравномерность ПП и ослабление в ПР измеряются в децибелах или дБ и определяются по формуле:

$$\text{дБ} = 20\log_{10}[A_o(f)/A_i(f)]$$

где $\log_{10}$ означает логарифм по основанию 10, а $A_i(f)$ и $A_0(f)$ – представляют собой амплитуды сигнала на определенной частоте f до и после фильтрации соответственно.

Например, для значения неравномерности полосы пропускания –0.02 дБ, формула дает

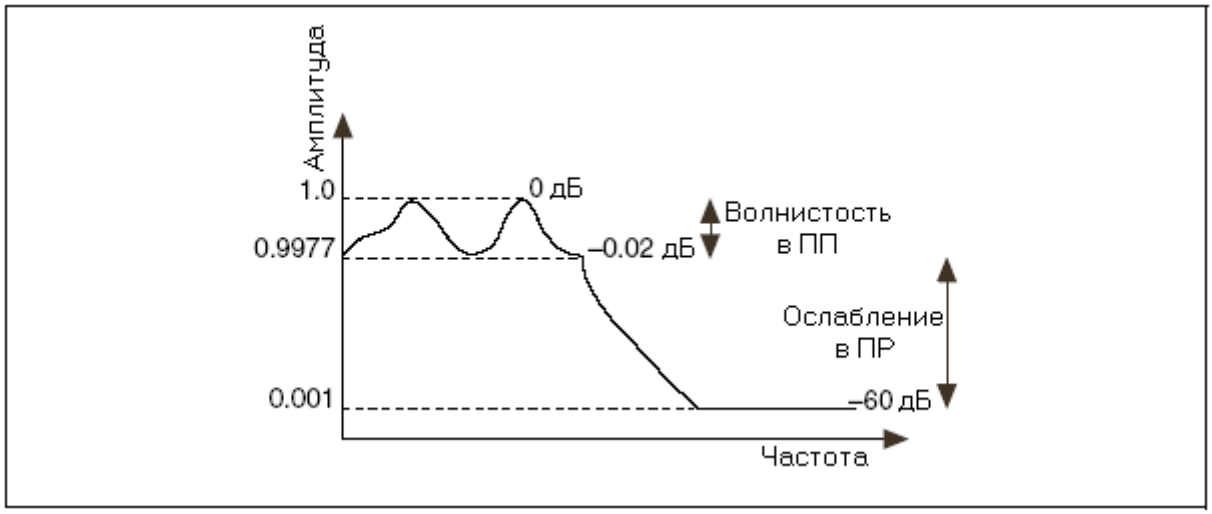
$$-0{,}02 = 20\log_{10}[A_0(f)/A_i(f)]$$
$$A_0(f)/A_i(f) = 10^{-0{,}001} = 0{,}9977$$

что говорит о том, что отношение выходной и входной амплитуды близко к единице.

Если ослабление достигает –60 дБ в полосе режекции, тогда получим:

$$-60 = 20\log_{10}[A_0(f)/A_i(f)]$$
$$A_0(f)/A_i(f) = 10^{-3} = 0{,}001$$

Это означает, что амплитуда выходного сигнала равно 1/1000 от амплитуды входного. Следующий рисунок хоть и не выдержан строго в масштабе, тем не менее, наглядно иллюстрирует картину.



Примечание. Ослабление обычно выражается в децибелах без слова минус, хотя подразумеваются обычно отрицательные значения дБ.

J. Преимущества цифровых фильтров перед аналоговыми

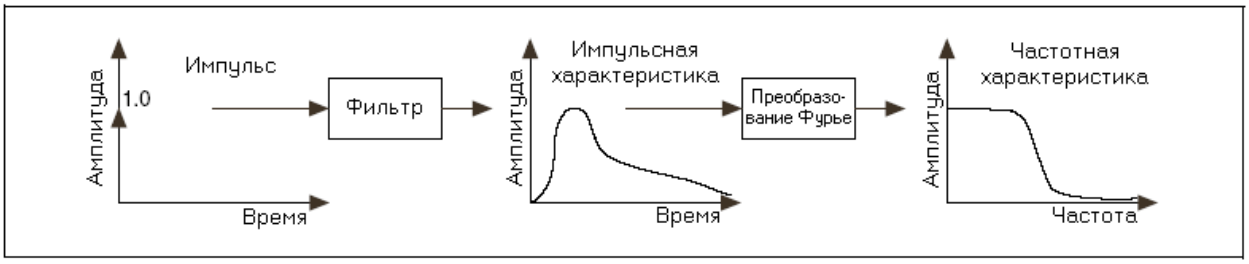
У аналогового фильтра как входной, так и выходной сигналы являются аналоговыми. Как входной *x(t)*, так и выходной *y(t)* сигналы, являются функциями непрерывной переменной *t* и могут принимать бесконечное число значений. Разработка аналоговых фильтров началась почти на 50 лет раньше цифровых. Поэтому пособия по проектированию аналоговых фильтров, содержащие простые и тщательно проверенные схемы, можно часто найти в литературе. Однако данная область проектирования чаще всего предназначена для специалистов, так как требует углубленного знания математики и понимания процессов, происходящих в системе и влияющих на фильтр.

Современные инструменты дискретизации и цифровой обработки сигнала сделали возможным заменить аналоговые фильтры цифровыми в тех приложениях, где требуется гибкость и возможность программирования. Эти приложения включают в себя аудио устройства, системы телекоммуникации, геофизику и медицинский мониторинг.
Преимущества цифровых фильтров над аналоговыми состоят в следующем:

- Они являются программно изменяемыми и, таким образом, легко проектируемыми и тестируемыми.
- Они требуют только арифметических операций умножения и сложения/вычитания и, следовательно, легки в применении.
- Они стабильны (не меняют значения параметров со временем и с изменением температуры) и их поведение предсказуемо.
- Их параметры не начинают «плыть» в зависимости от температуры или влажности и не требуют применения прецизионных компонентов.
- У них лучшее соотношение производительность/цена.
- Их параметры не страдают от изменений в производстве или от старения компонентов.

K. БИХ и КИХ фильтры

Еще один метод классификации фильтров основан на их импульсной характеристике. Импульсной характеристикой фильтра называется отклик фильтра на импульсный сигнал (x[0] =1 и x[i] = 0, при i ≠ 0), как показано на следующей иллюстрации. Фурье преобразование импульсной характеристики называется частотной характеристикой фильтра. Частотная характеристика фильтра говорит о том, каким будет коэффициент усиления фильтра на различных частотах. У идеального фильтра должно быть единичное усиление в полосе пропускания, и нулевое в полосе режекции. Таким образом, все частотные компоненты в полосе пропускания фильтра проходят без изменения, но частотных компонент, попадающих в полосу режекции фильтра, на его выходе нет.



Если импульсная характеристика фильтра спадает до нуля в течение конечного промежутка времени, то такой фильтр называют фильтром с конечной импульсной характеристикой (КИХ). Однако если импульсная характеристика фильтра существует бесконечно долго, то такой фильтр называют фильтром с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ). Конечна ли импульсная характеристика фильтра или нет, зависит от того, как вычисляется выходной сигнал.

Основное различие между КИХ и БИХ фильтрами заключается в том, что для КИХ-фильтров выходной сигнал зависит только от текущих и прошедших входных значений, тогда как выходной сигнал БИХ-фильтра зависит не только от текущих и прошедших входных значений, но и от прошедших выходных значений сигнала.

В качестве примера представьте кассовый аппарат в магазине. Пусть $x[k]$ – будет стоимость k–ой вещи, приобретаемой покупателем, где $1 < k < N$, а N – общее число купленных вещей. Кассовый аппарат прибавляет стоимость каждой вещи для выдачи «текущей» суммы. Эта «текущая» сумма $y[k]$ до k-й вещи определяется выражением

$$y[k] = x[k] + x[k–1] + x[k–2] + x[k–3] + ...+ x[1] \quad (6\text{-}2a)$$

Таким образом, общая стоимость N вещей равна $y[N]$. Поскольку y[k] – общая стоимость до k-й вещи включительно, а y[k-1] – до (k-1)-й, то уравнение 6-2a можно переписать как

$$y[k] = y[k-1] + x[k] \quad (6\text{-}2b)$$

Если же вы добавите налог с продаж в 8%, то уравнения 6-2a и 6-2b можно переписать так:

$$y[k] = 1.08x[k] + 1.08x[k-1] + 1.08x[k – 2] + 1.08x[k – 3] + ... + 1.08x[1] \quad (6\text{-}3a)$$

$$y[k] = y[k-1] + 1.08x[k] \quad (6\text{-}3b)$$

Обратите внимание, что оба уравнения 6-3a и 6-3b идентичны в описании поведения кассового аппарата. Разница состоит лишь в том, что уравнение 6-3a выражено только через значения входных элементов, тогда как выражение 6-3b содержит как входные, так и выходные значения. Уравнение 6-3a называется нерекурсивным или КИХ реализацией. Уравнение 6-3b называется рекурсивным или БИХ реализацией.

Коэффициенты фильтров

В выражении 6-3a значение константы, умножаемой на каждый член, равно 1.08. В уравнении 6-3b множитель при слагаемом с $y[k\text{-}1]$ равен 1, а при слагаемом с $x[k]$ – 1.08. Эти постоянные множители называются коэффициентами фильтров. Для БИХ фильтра эти умножаемые на входные значения коэффициенты называются коэффициентами вперед, а умножаемые на выходные значения – коэффициентами назад.

Уравнения 6-2a, 6-2b, 6-3a и 6-3b, описывающие действие фильтра, называются разностными уравнениями.

Преимущества и недостатки КИХ и БИХ фильтров

Сравнивая КИХ и БИХ фильтры, можно заключить, что преимущество БИХ фильтров над КИХ фильтрами состоит в том, что БИХ фильтрам требуется меньшее число коэффициентов для выполнения схожих операций фильтрации. Таким образом, БИХ фильтры работают намного быстрее и не требуют дополнительной памяти, так как выполняются сразу же.

Недостаток БИХ фильтров состоит в том, что их фазо-частотная характеристика (ФЧХ) является нелинейной. Если в приложении не требуется фазовая информация, как, например, для простого мониторинга сигнала, то для этого вполне подойдет БИХ фильтр. Однако для приложений, требующих линейных фазовых откликов, следует использовать КИХ-фильтры. Кроме того, рекурсивная природа БИХ фильтров усложняет их разработку и применение.

L. БИХ фильтры

Фильтры с бесконечной импульсной характеристикой представляют собой цифровые фильтры, выходной сигнал которых определяется сложением взвешенной суммы прошедших выходных значений и взвешенной суммы прошедших и текущих значений входного сигнала. Обозначая входные значения за x[.], а выходные за y[.], разностное уравнение общего вида, характеризующее БИХ фильтр, выглядит следующим образом

$$a_0 y[i] + a_1 y[i-1] + a_2 y[i-2] + ... + a_{N_y-1} y[i-(N_y-1)] =$$
$$= b_0 x[i] + b_1 x[i-1] + b_2 x[i-2] + ... + b_{N_x-1} x[i-(N_x-1)]$$

$$a_0 y[i] = -a_1 y[i-1] - a_2 y[i-2] - ... - a_{N_y-1} y[i-(N_y-1)] +$$
$$+ b_0 x[i] + b_1 x[i-1] + b_2 x[i-2] + ... + b_{N_x-1} x[i-(N_x-1)]$$

$$y[i] = \frac{1}{a_0}\left(-\sum_{j=1}^{N_y-1} a_j y[i-j] + \sum_{k=0}^{N_x-1} b_k x[i-k] \right) \qquad (6\text{-}4)$$

где N_x – число коэффициентов вперед ($b[k]$), а N_y – число коэффициентов назад ($a[j]$). Выходная выборка с индексом текущей выборки i представляет собой сумму взвешенных текущих и прошедших входных сигналов ($x[i]$ и $x[i\text{-}k]$, где $k \neq 0$), а также взвешенных прошедших выходных сигналов, ($y[i\text{-}j]$ при $j \neq 0$) . Обычно значение N_x равно N_y, и эту величину называют порядком фильтра.

Примечание. Во всех БИХ фильтрах, примененных в LabVIEW, значение коэффициента a_0 равно 1.

Реальные БИХ фильтры

Более низкий порядок уменьшает число арифметических операций, а, следовательно, уменьшает число ошибок вычисления. Проблема фильтрации с высоким порядком состоит в том, что при порядках выше 20-30, вы очень быстро попадаете в область, где возникают ошибки, сводящие точность на нет. Это основная причина, по которой предпочтительно использовать «каскадные» схемы фильтров перед «прямыми». Более подробную информацию о применении каскадных схем фильтров можно найти в справке *LabVIEW Help*. Рекомендуется применять порядки от 1 до 20, причем 30-й порядок – обычно максимальный. Большие порядки означают применение большего числа коэффициентов, и, следовательно, большее время обработки.

Импульсная характеристика фильтра, заданного уравнением 6-4, имеет бесконечную длину для ненулевых коэффициентов. Однако, при практическом применении, импульсная характеристика устойчивых БИХ фильтров спадает до значений, близких к нулю, через конечное число выборок.

На практике частотная характеристика фильтров отличается от идеальных фильтров. В зависимости от формы частотной характеристики БИХ фильтры могут быть классифицированы как:

- Фильтры Баттерворта (Butterworth)
- Фильтры Чебышева (Chebyshev)

- Фильтры Чебышева II или инверсные фильтры Чебышева
- Эллиптические
- Фильтры Бесселя (Bessel)

В следующих разделах при описании каждого из фильтров входной сигнал считается импульсным. Далее сигнал фильтруется с использованием экспресс-ВП Filter, и затем снимается частотный отклик при помощи ВП Frequency Response Function (Mag-Phase) без использования взвешивания.

Фильтры Баттерворта

Фильтр Баттерворта не имеет волнистости ни в области пропускания, ни в области режекции. Благодаря отсутствию волнистости, его называют максимально плоским фильтром. Его частотная характеристика отличается сглаженным откликом на всех частотах. Рисунок 6-14 демонстрирует характеристики ФНЧ Баттерворта различных порядков.

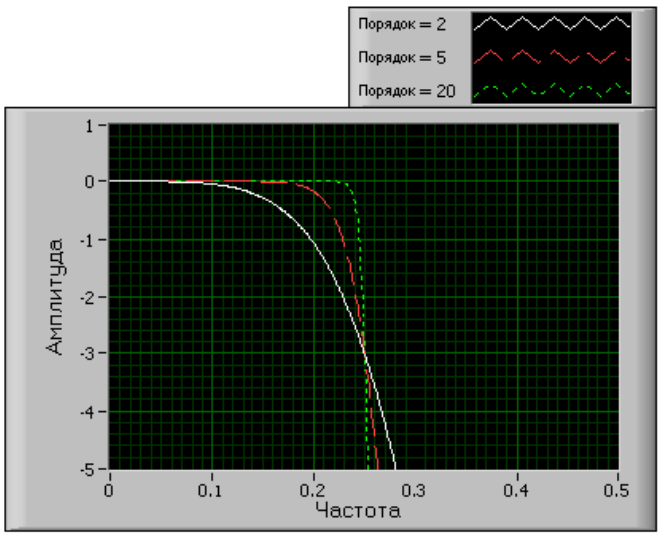


Рисунок 6-14. Частотная характеристика фильтра Баттерворта

Область, где выходной сигнал фильтра равен 0 (или очень близок к 0), является полосой пропускания фильтра. Область, где выходной сигнал переходит к отрицательным значениям, является полосой режекции фильтра. Область между полосой пропускания и режекции, где выходной сигнал плавно изменяется от 0 до отрицательных значений, является переходной областью.

Преимущество фильтра Баттерворта заключается в плавной, монотонно убывающей частотной характеристике в переходной области. Как видно из рисунка 6-14, чем выше порядок фильтра, тем круче переходная область.

Фильтры Чебышева

Частотная характеристика фильтра Баттерворта не всегда является хорошей аппроксимацией характеристики идеального фильтра из-за ее медленного спада между областью пропускания (интересующая область спектра) и областью режекции (ненужная

область спектра). С другой стороны, фильтры Чебышева имеют меньшую переходную область, чем фильтры Баттерворта того же порядка. Однако это достоинство фильтра Чебышева получается ценой большей волнистости в области пропускания. Используя LabVIEW, вы можете задать максимальное значение волнистости (в дБ) в полосе пропускания фильтра Чебышева. Частотные характеристики фильтра Чебышева имеют эквивалентные по волнистости характеристики (все волны в полосе фильтра имеют одинаковую величину) в области пропускания, монотонно спадающую характеристику в области режекции, и более крутой спад в переходной области по сравнению с фильтром Баттерворта того же порядка.

График на рисунке 6-15 показывает отклик ФНЧ Чебышева различных порядков. На этом графике единицы измерения по оси y – децибелы. Еще раз обратите внимание, что крутизна переходной области увеличивается с ростом порядка. Кроме того, с ростом порядка растет и число волн в полосе пропускания.

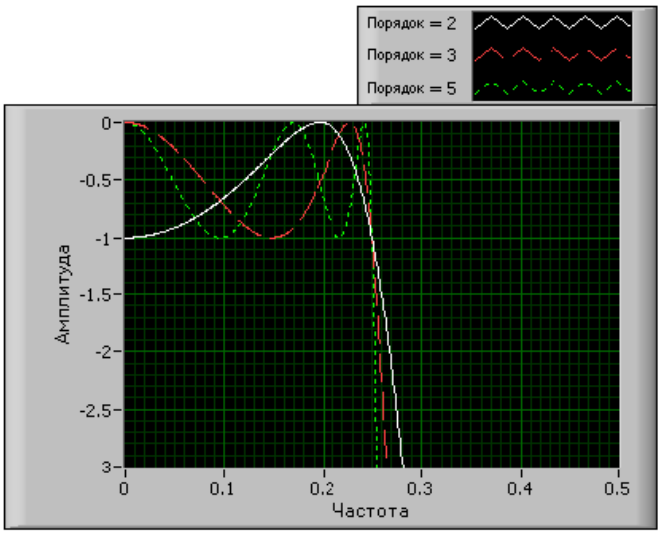


Рис.6-15. Частотная характеристика фильтров Чебышева

Преимущества фильтров Чебышева над фильтрами Баттерворта состоит в более крутой переходной области между полосами пропускания и режекции при меньших порядках фильтра. Следствием этого является меньшая абсолютная ошибка и большая скорость выполнения.

Фильтры Чебышева II типа или инверсные фильтры Чебышева

Фильтр Чебышева II, известный как инверсный фильтр Чебышева или фильтр Чебышева II типа, схож с обычным фильтром Чебышева за исключением того, что он имеет волнистость в области режекции и максимально плоскую характеристику в полосе пропускания. Для данного типа фильтров вы можете указать величину ослабления (в дБ) в области режекции фильтра. Частотная характеристика фильтров Чебышева II типа имеет одинаковое по волнистости (эквиволнистое) значение в области режекции, монотонно убывающую величину отклика в области пропускания и более крутой спад, чем у фильтров Баттерворта того же порядка. На графике на рисунке 6-16 показаны отклики ФНЧ Чебышева II типа различных порядков.

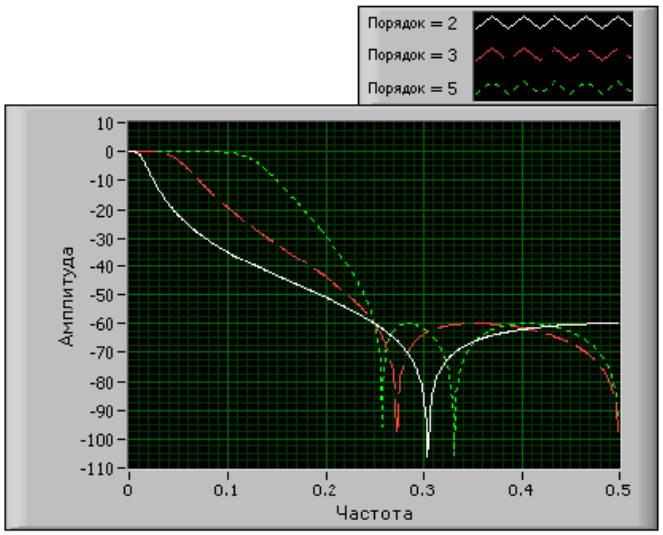


Рис.6-16. Частотная характеристика фильтров Чебышева II типа

Преимущества фильтров Чебышева П над фильтрами Баттерворта состоит в более крутой переходной области между полосами пропускания и режекции при меньших порядках фильтра. Эта разница соответствует меньшей абсолютной ошибке и более высокой скорости фильтрации. Одно из преимуществ фильтров Чебышева П типа над обычными фильтрами Чебышева состоит в том, что фильтры Чебышева П типа имеют волнистость в области режекции, а не в полосе пропускания.

Эллиптические фильтры

Фильтры Чебышева имеют более крутую переходную область, чем фильтры Баттерворта того же порядка. Это происходит за счет появления волнистости как в области пропускания (первый тип), так и в области режекции (второй тип). Эллиптические фильтры распределяют волнистость между обеими областями (областью пропускания и областью режекции). Частотную характеристику эллиптических фильтров характеризует эквиволнистость (равноволнистость) полосы пропускания и режекции. По сравнению с фильтрами Баттерворта и Чебышева того же порядка, эллиптические фильтры обеспечивают самую крутую переходную область между ПП и ПР. Вследствие этого эллиптические фильтры довольно популярны в тех приложениях, где требуется небольшая переходная область и допускается волнистость. График на рисунке 6-17 показывает характеристики эллиптических ФНЧ различных порядков.

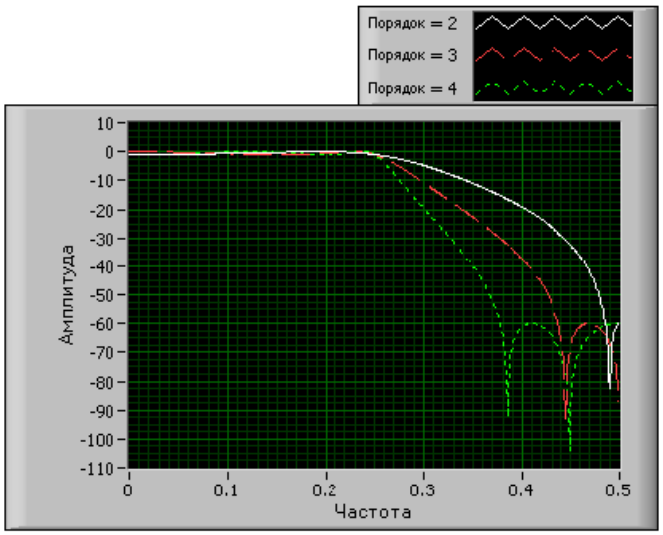


Рис.6-17. Частотная характеристика эллиптических фильтров

Обратите внимание на резкий край переходной области эллиптических фильтров даже низкого порядка. Для эллиптических фильтров вы можете указать величину волнистости (в дБ) в полосе пропускания, а так же величину ослабления (в дБ) в полосе режекции.

Фильтры Бесселя

Фильтры Бесселя создавались для использования совместно с прямоугольными сигналами, следовательно, они идеальны для цифровой фильтрации. Как и фильтр Баттерворта, фильтр Бесселя имеет сглаженный отклик и в ПП и в ПР. С тем же самым порядком фильтр Бесселя имеет гораздо большее ослабление в полосе режекции, чем фильтр Баттерворта. По сравнению с другими фильтрами того же порядка фильтр Бесселя имеет самую широкую переходную область. Главным преимуществом фильтра Бесселя является практически идеальная линейность фазово-частотной характеристики в ПП.

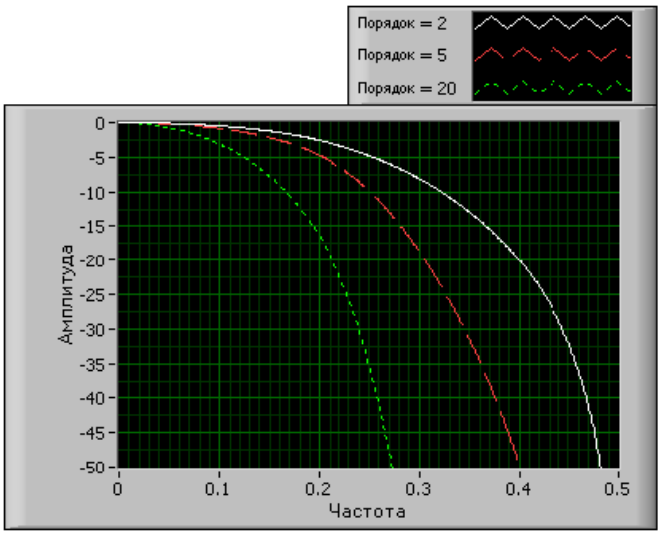
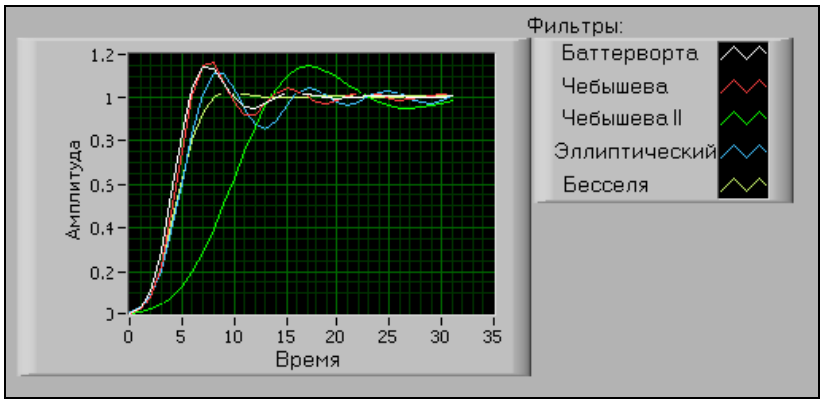


Рис.6-18. Частотная характеристика фильтров Бесселя

M. Сравнение БИХ фильтров

На следующем рисунке представлено сравнение амплитудно-частотных характеристик БИХ фильтров нижних частот четырех различных типов, имеющих одинаковый порядок (пятый). Эллиптический фильтр имеет наиболее узкую переходную область, тогда как фильтр Баттерворта – самую широкую.



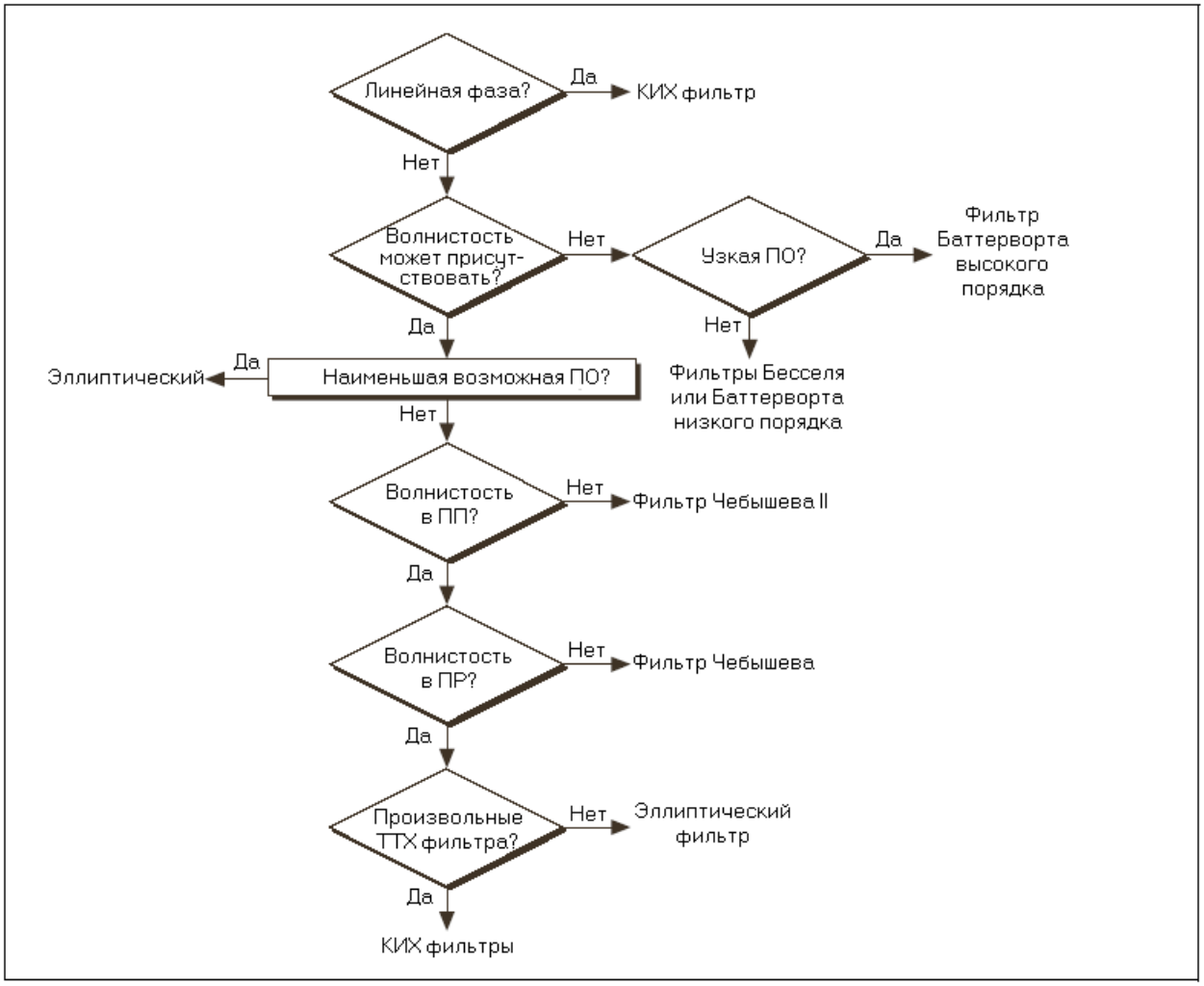
В следующей таблице приводится сравнение различных типов фильтров.

Модель БИХ фильтра	Частотные характеристики	Ширина переходной области для указанного порядка фильтра	Требуемый порядок для удовлетворения заданным техническим требованиям
Баттерворта	Нет волнистости		
Чебышева	Волнистость в ПП		
Инверсный Чебышева	Волнистость в ПР	Самая узкая	
Эллиптический	Волнистость в ПП и ПР		Самый низкий
Бесселя	Нет волнистости	Самая широкая	Самый высокий

ВП Цифровой фильтрации, содержащиеся в LabVIEW, просты для использования и охватывают все тонкости при разработке программ: вычисления, распределение памяти, текущая внутренняя фильтрация данных. Вам не нужно быть специалистов в области цифровых фильтров или теории цифровой фильтрации для обработки данных. Все, что вам нужно, это указать параметры элементов управления, таких как порядок фильтра, частоты среза, величина волнистости и ослабление в полосе режекции.

Как решить, какой фильтр использовать

Теперь, когда вы познакомились с различными типами фильтров и их характеристиками, возникает вопрос: какой фильтр наилучшим образом подходит для вашего приложения. Причинами, влияющими на выбор типа фильтра, могут быть: требования к линейности фазы, допущение волнистости или же требования узкой переходной области. Блок-схема на следующем рисунке послужит вам руководством для правильного выбора фильтра. Помните, что на практике вам, возможно, понадобится поэкспериментировать с несколькими вариантами для окончательного выбора наилучшего фильтра.


Линейная фаза?
Да
КИХ фильтр
Нет
Волнистость может присут-ствовать?
Нет
Узкая ПО?
Да
Фильтр Баттерворта высокого порядка
Нет
Фильтры Бесселя или Баттерворта низкого порядка
Да
Наименьшая возможная ПО?
Да
Эллиптический
Нет
Волнистость в ПП?
Нет
Фильтр Чебышева II
Да
Волнистость в ПР?
Нет
Фильтр Чебышева
Да
Произвольные ТТХ фильтра?
Нет
Эллиптический фильтр
Да
КИХ фильтры

N. Переходная характеристика БИХ фильтра

Выходной сигнал БИХ фильтра определяется формулой:

$$y[i] = -a_1 y[i-1] - a_2 y[i-2] - ... - a_{N_y-1} y[i-(N_y-1)] + \\ + b_0 x[i] + b_1 x[i-1] + b_2 x[i-2] + ... + b_{N_x-1} x[i-(N_x-1)] \quad (6\text{-}5)$$

где N_x - количество коэффициентов вперед, N_y - количество реверсивных коэффициентов, a_0 - предполагается равным 1. Для фильтра второго порядка, когда $N_x = N_y = 2$, соответствующее разностное уравнение есть:

$$y[i] = -a_1 y[i-1] - a_2 y[i-2] + b_0 x[i] + b_1 x[i-1] + b_2 x[i-2] \quad (6\text{-}6)$$

Чтобы рассчитать выходной сигнал фильтра (в i – ый момент), вам необходимо знать два прошедших выходных сигнала (в моменты $i-1$ и $i-2$), а также текущее значение входного сигнала (в момент i) и два предыдущих значения входного сигнала (в моменты времени $i-1$ и $i-2$).

Теперь предположим, что вы только что начали процесс фильтрации, взяв первую выборку входного сигнала. Однако в этот момент времени вы не располагаете предыдущими входными значениями ($x[i-1]$ и $x[i-2]$) и предыдущими выходными значениями ($y[i-1]$ и $y[i-2]$), поэтому по умолчанию эти значения предполагаются равными нулю. Когда вы будете получать вторую выборку, у вас уже будет предыдущее значение входного сигнала $x[i-1]$ и предыдущее значение выходного сигнала $y[i-1]$, вычисленные на первой стадии, но пока не имеете значений $x[i-2]$ и $y[i-2]$. Поэтому опять эти значения предполагаются равными нулю. Только после начала обработки третьей выборки сигнала все члены в правой части уравнения 6-6 определены, поскольку определены все необходимые для расчетов предыдущие значения. Таким образом, мы видим, что возникает некоторая временная задержка на то, чтобы предварительно определить все необходимые величины в правой части разностного уравнения 6-6, описывающего наш фильтр. Выходной сигнал фильтра в течение этого интервала времени есть некоторый переходной процесс, который обычно называется переходной характеристикой фильтра. Для ФНЧ и ФВЧ длительность переходной характеристики (или задержка) равна порядку фильтра. Для полосно-пропускающего фильтра и полосно-заграждающего фильтра эта длительность вдвое больше порядка фильтра.

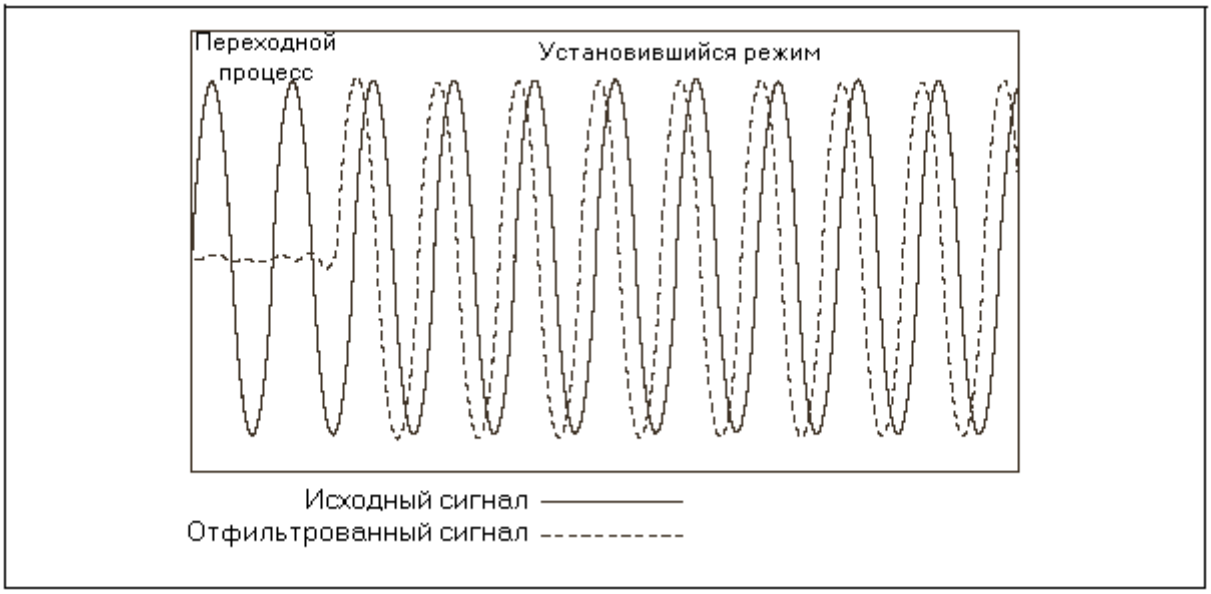
БИХ фильтры имеют следующие свойства:

- Выборки с отрицательными индексами, вытекающие из уравнения 6-4, предполагаются равными нулю при первом вызове ВП.

- Поскольку первоначальное состояние фильтра предполагается нулевым (для отрицательных индексов), возникает некоторый переходной процесс с длительностью, пропорциональной порядку фильтра, прежде чем фильтр войдет в стационарное состояние. Для ФНЧ и ФВЧ длительность переходной характеристики (или задержка) равна порядку фильтра.

- Для полосно-пропускающего фильтра и полосно-заграждающего фильтра длительность переходной характеристики вдвое больше порядка фильтра.

При каждом вызове ВП Filter на его выходе появляется переходной процесс, как показано на следующей иллюстрации. Можно исключить влияние переходной характеристики при последовательных вызовах, разрешая сохранять в памяти состояние этого ВП. Для этого установите значение параметра **init/cont** данного ВП в состояние TRUE (непрерывная фильтрация). Вы научитесь делать это в следующем упражнении.



- Число элементов отфильтрованной последовательности равно числу элементов входной последовательности.

- Фильтр запоминает величины своего внутреннего состояния после окончания процесса фильтрации.

Упражнение 6-3. Применение БИХ фильтров в процессе сбора данных

Задача: Использовать цифровую фильтрацию в приложении, использующем сбор данных.

Фильтрация повсеместно применяется для данных, полученных при помощи DAQ устройства. В данном упражнении вы создадите ВП, выполняющий цифровую БИХ фильтрацию данных, собранных при помощи DAQ устройства. Этот ВП поможет сравнить эффекты от фильтрации. Вы сможете наблюдать осциллограммы во временной и частотной областях исходного и фильтрованного сигналов для того, чтобы увидеть преимущества цифровой БИХ фильтрации.

Лицевая панель

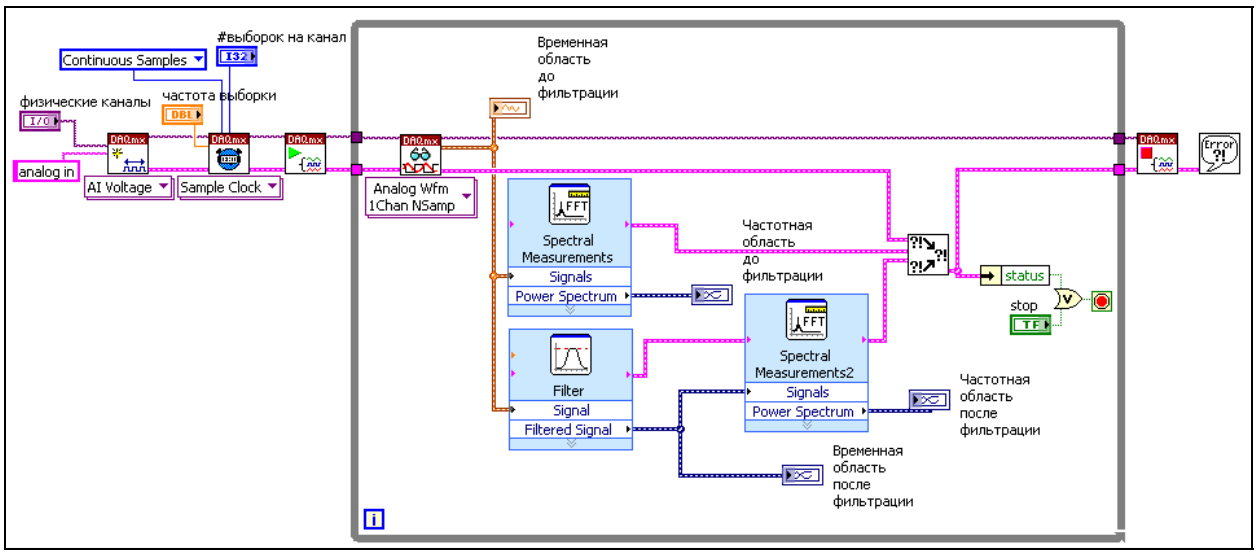
1. Откройте новый ВП.

2. Поместите графики осциллограмм на лицевой панели и назовите их `Временная область до фильтрации`, `Временная область после фильтрации`, `Частотная область до фильтрации` и `Частотная область после`.

3. Добавьте кнопку **Stop**.

Блок-диаграмма

4. Создайте следующую блок-диаграмму.



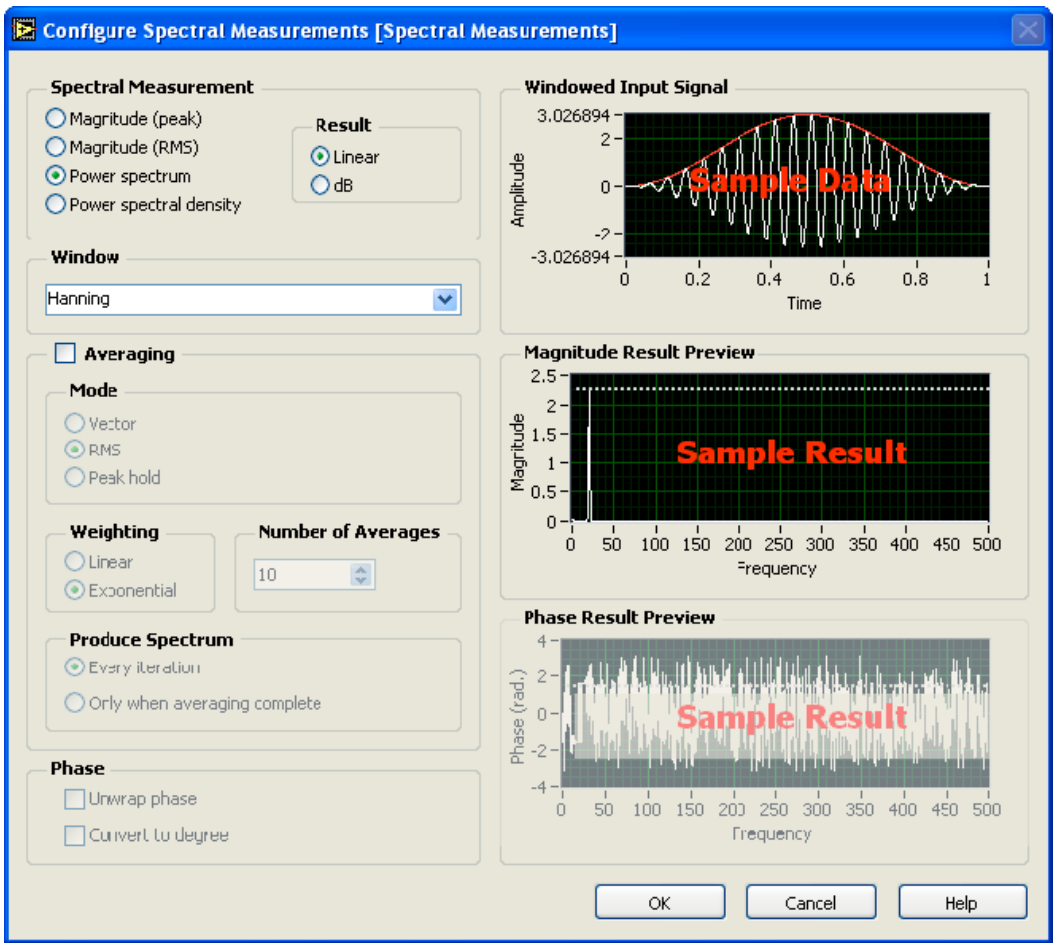
a. Поместите ВП DAQmx Create Channel, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП создает виртуальный канал определенного типа. Выберите опции **Analog Input»Voltage** в конфигураторе этого ВП. Щелкните правой кнопкой мыши на вводе **physical channels** и выберите **Create»Control** из появившегося контекстного меню. Щелкните правой кнопкой мыши на вводе **name to assign** и выберите **Create»Constant** из появившегося контекстного меню. Назовите канал `analog in`.

b. Поместите ВП DAQmx Timing, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП конфигурирует тактирование задачи. Щелкните правой кнопкой мыши на вводе **sample mode** и выберите **Create»Constant** из появившегося контекстного меню. Введите `Continuous Samples` в константу. Щелкните правой кнопкой мыши на вводе **samples per channel** и выберите **Create»Control** из появившегося контекстного меню. Этот элемент управления определяет размер буфера. Щелкните правой кнопкой мыши на вводе **rate** и выберите **Create»Control** из появившегося контекстного меню.

c. Поместите ВП DAQmx Start, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП запускает операцию непрерывного буферизированного получения данных.

d. Поместите ВП DAQmx Read, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП считывает данные из буфера, созданного ВП DAQmx Timing. Выберите опции **Analog»Single Channel»Multiple Samples»Waveform** в конфигураторе этого ВП.

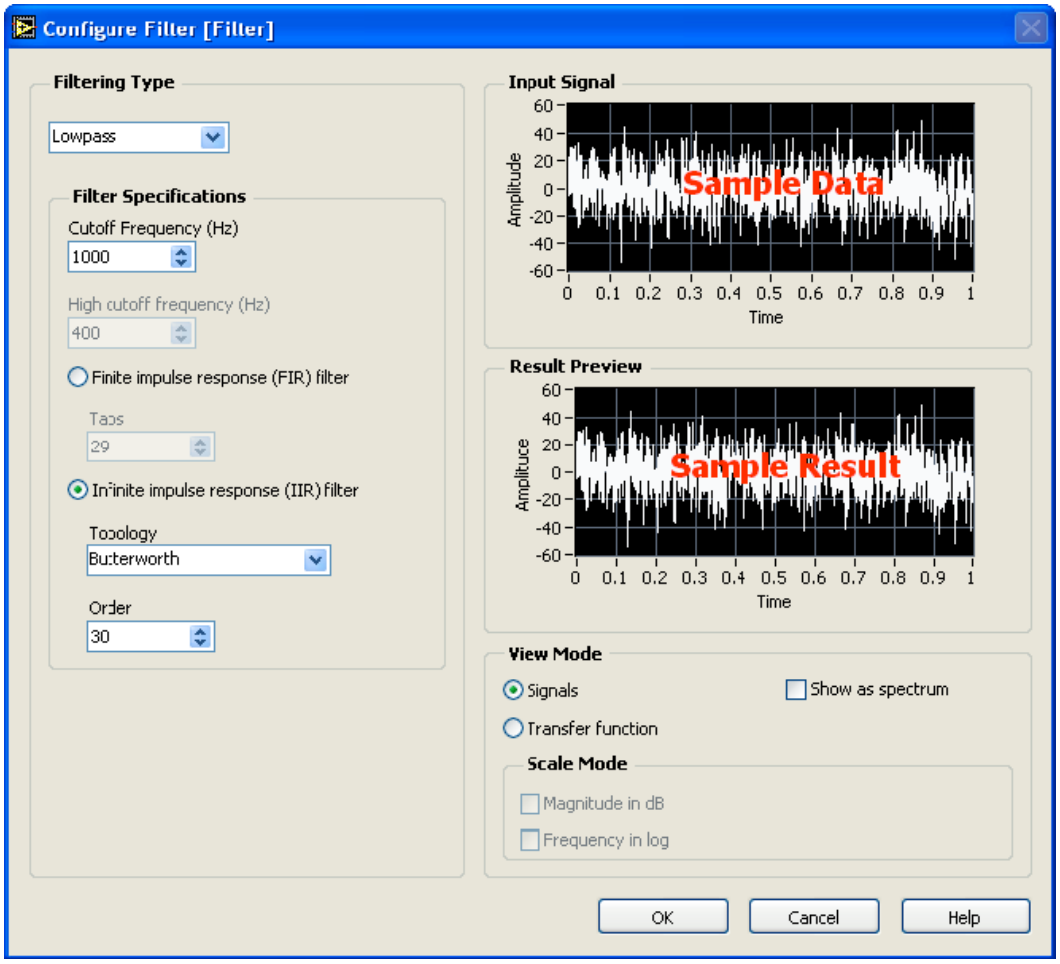
e. Поместите экспресс-ВП Spectral Measurements, расположенный в палитре **Functions» Signal Analysis**, на блок-диаграмму. Этот ВП вычисляет спектр мощности входного сигнала. В появившемся диалоговом окне **Configure Spectral Measurements** установите опции, как показано на следующем рисунке.



– Настройте оба экспресс-ВП Spectral Measurements выше указанным образом.

– Нажмите кнопку **OK** для выхода из диалогового окна.

f. Поместите экспресс-ВП Filter, расположенный в палитре **Functions» Signal Analysis**, на блок-диаграмму. Этот ВП обрабатывает сигналы с использованием фильтров и окон. В появившемся диалоговом окне **Configure Filter** установите опции, как показано на следующем рисунке.



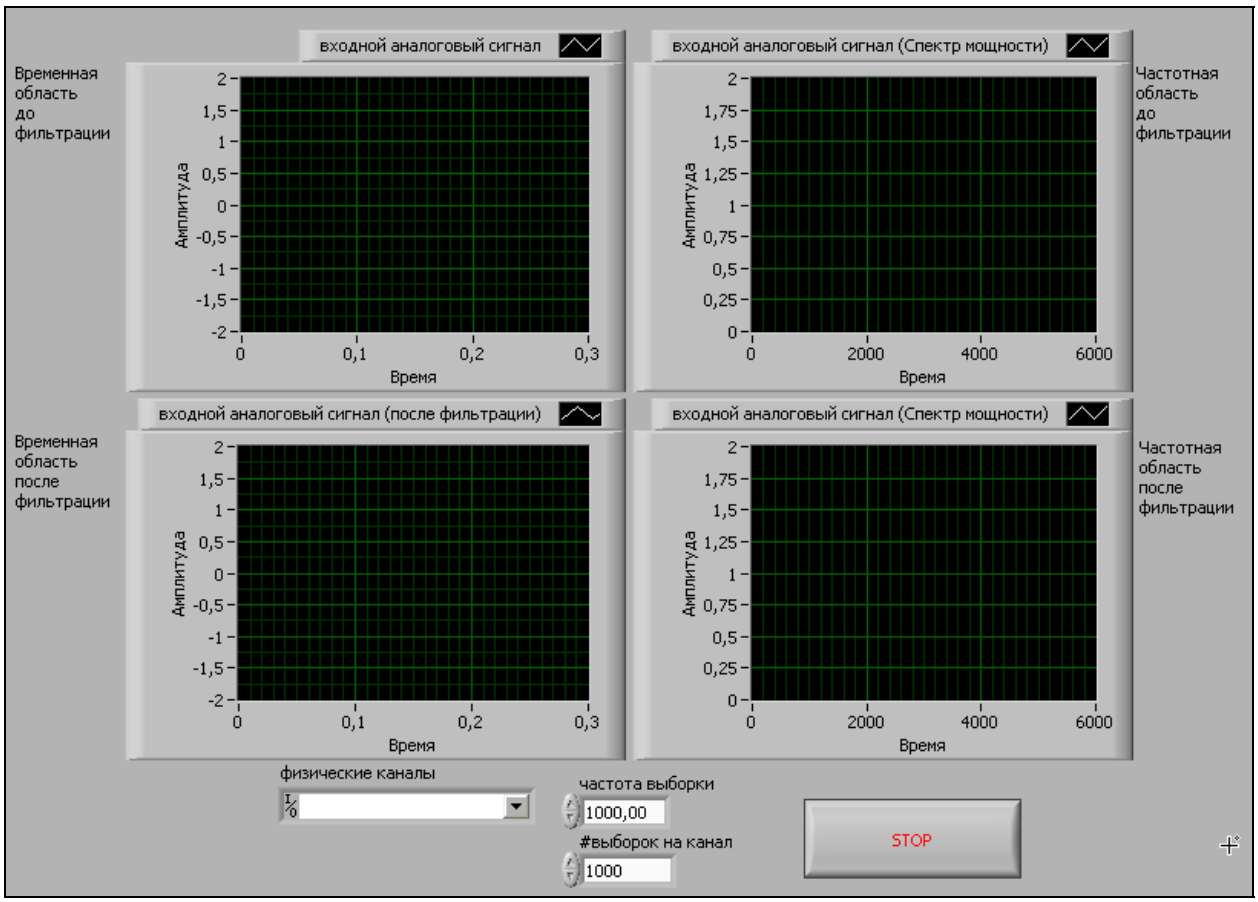
g. Поместите ВП DAQmx Stop Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП останавливает данную задачу.

h. Поместите функцию Unbundle by Name, расположенную в палитре **Functions»All Functions»Cluster**, на блок-диаграмму. Эта функция возвращает логическое значение состояния **status** из кластера ошибки.

i. Поместите ВП Merge Errors, расположенный в палитре **Functions»All Functions»Time & Dialog**, на блок-диаграмму. Этот ВП объединяет кластеры ошибок из различных функций.

j. Поместите ВП Simple Error Handler, расположенный в палитре **Functions»All Functions»Time & Dialog**, на блок-диаграмму. В случае возникновения ошибки этот ВП вызовет диалоговое окно с информацией, касающейся ошибки и месте ее возникновения.

5. Переключитесь на лицевую панель и расположите ее элементы как показано на следующем рисунке.



6. Сохраните ВП с именем `IIR DAQ Filter.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

7. На лицевой панели этого ВП установите для **физические каналы** значение `Dev X/ai2`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства. Установите для **частоты выборки** значение `10000` и **количество выборок на канал** – `10000`.

8. Присоедините на испытательной коробке аналоговый выход 1 к аналоговому входу 2. Установленные настройки заставляют ВП собирать данные из канала 2 с частотой 10 кГц, полагая частоту Найквиста равной 5 кГц.

9. Выберите меню **Help»Find Examples** для вызова поисковика примеров NI Example Finder, просмотрите по типу задачи подменю **Hardware Input and Output»DAQmx»Analog Generation»Voltage** и откройте ВП Cont Gen Voltage Wfm-Int Clk-Variable Rate. Запустите ВП, который будет генерировать синусоидальный сигнал с частотой 100 Гц на выходе аналогового сигнала 1.

10. Запустите ВП IIR DAQ Filter. Обратите внимание на четыре появившиеся осциллограммы. На графике исходной осциллограммы во временной области данные показываются в виде сильно прерывистой синусоиды, поскольку дискретные данные производят разрывную аналоговую осциллограмму. Сгенерированная синусоида содержит компоненты на частотах гораздо больших основной. Эти компоненты можно заметить на графике исходной осциллограммы в частотной области. Цифровой БИХ ФНЧ ослабляет эти высокочастотные компоненты, в результате чего появляется почти идеальный синус на графике отфильтрованного сигнала во временной и частотной областях. Однако будьте осторожны с наложением спектров. Цифровой фильтр не может удалить этот эффект.

11. Наложение спектров – это проблема для цифровой фильтрации. Понемногу увеличивайте частоту сигнала, генерируемого примером ВП. При увеличении частоты выше 500 Гц на графике отфильтрованного сигнала видно его ослабление. Однако сигнал никогда не исчезнет до конца. Псевдо-аналоговая осциллограмма, генерируемая примером ВП, содержит множество информации на высоких частотах. Поскольку никаких аппаратных фильтров защиты от наложения спектров нет, высокочастотные компоненты появятся в диапазоне от 0 до 5 кГц. Цифровой БИХ фильтр ослабит эти компоненты, но никогда не сможет полностью исключить их. Эта ситуация подчеркивает важность использования аппаратных фильтров защиты от наложения спектров.

12. Измените частоту генерируемого сигнала до 500 Гц и нижнюю частоту среза Lower FC до 400 Гц. Остальные параметры фильтра оставьте неизменными: тип Butterworth и порядок 5. Для этого остановите ВП и дважды щелкните на экспресс-ВП Filter. Как видим, входной сигнал не полностью ослабился. Вспомним, что переходная область фильтра Баттерворта становится уже при увеличении его порядка. Увеличьте порядок фильтра, и он начнет сильнее ослаблять сигнал. Увеличивайте порядок до тех пор, пока фильтр не ослабит сигнал в достаточной мере. Типичный порядок фильтра колеблется от 1 до 20, а 30 это считается пределом. При использовании больших порядков компьютеру необходимо больше времени для обработки, и возрастает вероятность ошибки, вводимой числами с плавающей запятой в выходной сигнал.

13. Поэкспериментируйте с различными типами фильтров, их порядками и частотами среза.

14. Остановите и закройте ВП после окончания работы.

Конец упражнения 6-3

О. Фильтры с конечной импульсной характеристикой

Поскольку выходной сигнал БИХ фильтров зависит от предыдущих выходных значений, а также от текущего и предыдущих значений входного сигнала, БИХ фильтры обладают бесконечным объемом памяти, что выливается в импульсную характеристику бесконечной длины.

Фильтры с конечной импульсной характеристикой (Finite Impulse Response – FIR) – КИХ фильтры – известны также как нерекурсивные фильтры, свёрточные фильтры или фильтры со скользящим усреднением, поскольку вы можете выразить выходной сигнала такого фильтра в виде конечной свертки

$$y_i = \sum_{k=0}^{n-1} h_k x_{i-k}$$

где x представляет входную последовательность, y – выходную отфильтрованную последовательность, h – коэффициенты КИХ фильтра.

Выходное значение КИХ фильтра зависит только от текущего и прошедших значений входного сигнала. Из-за того, что выходной сигнал не зависит от предыдущих выходных значений, импульсная характеристика спадает до нуля за конечный промежуток времени. В общем случае выходной сигнал КИХ фильтра задается выражением:

$$y[i] = b_0 x[i] + b_1 x[i-1] + b_2 x[i-2] + ... + b_{M-1} x[i-(M-1)]$$

где $b_0, b_1, ..., b_{M-1}$ –коэффициенты фильтра.

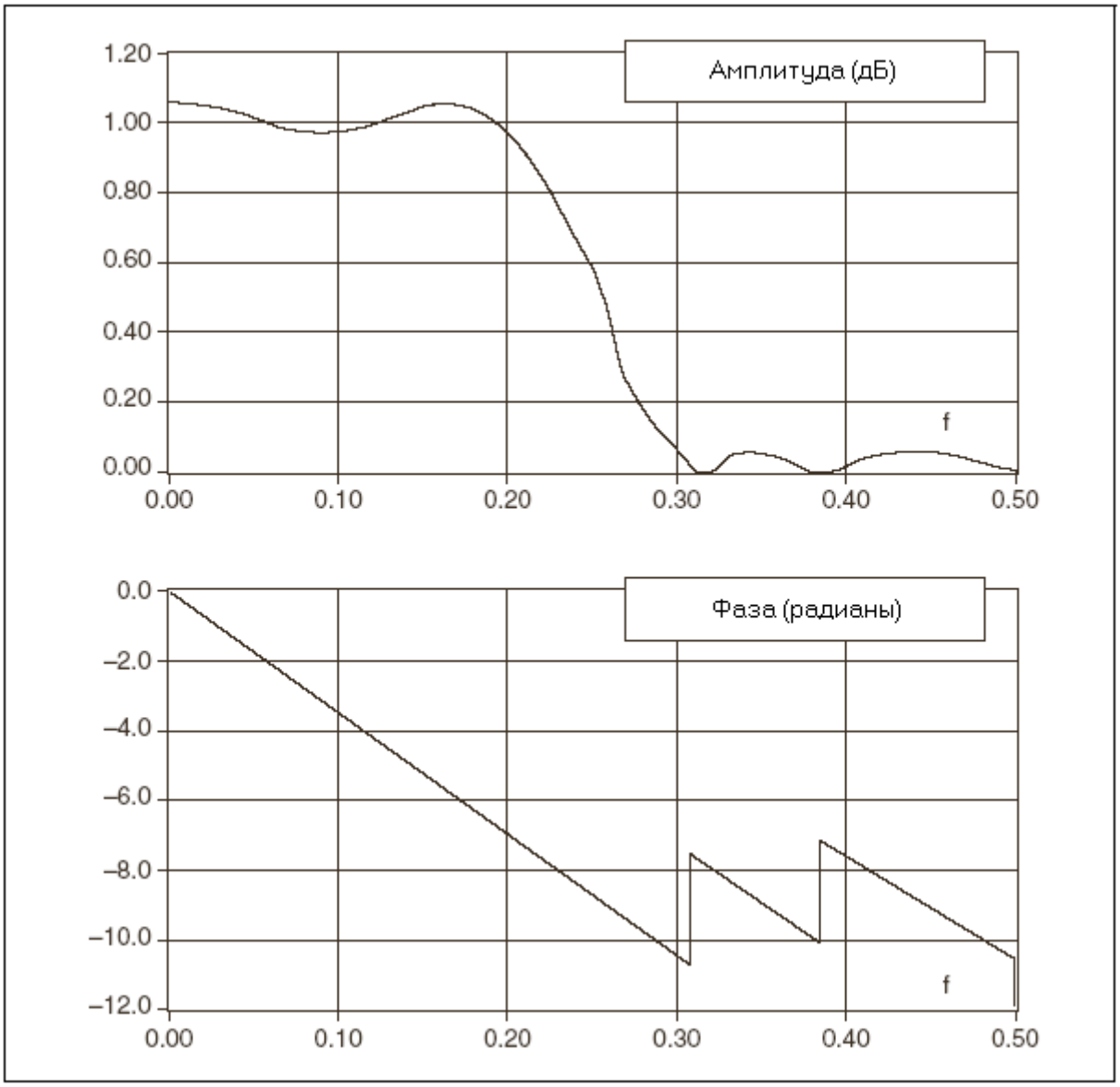
КИХ фильтры имеют несколько важных особенностей:

- С их помощью можно получить линейную фазовую характеристику, а, следовательно, они могут пропускать сигнал без фазовых искажений.

- Они всегда устойчивы. При проектировании или разработке фильтра вам не нужно беспокоиться о вопросах устойчивости.

- КИХ фильтры проще и легче в применении.

На следующем рисунке построены типичные амплитудные и фазовые зависимости КИХ фильтров от нормированной частоты. Скачки на фазовой характеристике в области режекции возникают из-за разрывов, вносимых при вычислении амплитудной характеристики с использованием абсолютного значения. Обратите внимание, что скачки в фазе имеют порядок π, который соответствует перемене знака амплитудной характеристики в области режекции. Фаза, тем не менее, определенно, линейна.



Простейший способ создания КИХ фильтров с линейной ФЧХ – это метод проектирования с использованием окон. Для создания КИХ фильтров с использованием окон начните с идеального частотного отклика, вычислите импульсную характеристику и затем отсеките часть импульсной характеристики для получения конечного числа коэффициентов. Усечение идеальной импульсной характеристики приводит к эффекту, известному как явление Гиббса, - осцилляторному поведению вблизи резких переходов (частот среза) в частотном отклике КИХ фильтра.

Следствия эффекта Гиббса можно уменьшить, сглаживая усечение идеальной импульсной характеристики с применением сглаживающего окна. Плавно изменяя КИХ коэффициенты с каждой стороны, вы можете уменьшить размеры боковых максимумов частотного отклика. Недостатком данного метода является расширение главного максимума, вследствие чего расширяется и переходная область на частотах среза.

Выбор функций окон похож на выбор между БИХ фильтрами Чебышева и Баттерворта, только теперь поменялись понятия: ширину переходной области заменили боковые максимумы вблизи частот среза.

Итоги

- Возможно быстрое вычисление дискретного преобразования Фурье (ДПФ) при помощи алгоритма, известного как быстрое преобразование Фурье (БПФ). Этот алгоритм можно использовать, когда число выборок сигнала равно некоторой степени двух.

- Спектр мощности можно вычислить, используя ДПФ/БПФ и возводя в квадрат амплитуды отдельных частотных компонент. ВП Power Spectrum, расположенный в дополнительной библиотеке анализа, автоматически вычисляет спектр. Единицами выходного сигнала этого ВП являются V_{rms}^2. Спектр мощности не содержит никакой фазовой информации.

- ДПФ, БПФ и спектр мощности применяются для измерения частотного содержимого сигналов стационарных или переходных процессов. БПФ позволяет найти средние частотные компоненты сигнала за все время получения сигнала. Используйте БПФ в основном для анализа стационарных сигналов, когда их частотное содержимое меняется незначительно в течение времени получения сигнала или когда вам необходимо знать только среднюю энергию каждой частотной компоненты.

- Для уменьшения утечки спектра ограниченная во времени осциллограмма умножается на функцию окна.

- Окна можно использовать для разделения синусоидальных сигналов, имеющих близкие частоты, но сильно отличающихся по амплитуде.

- В применяемых на практике фильтрах коэффициент усиления в полосе пропускания не всегда может быть равен единице, а ослабление в полосе режекции не всегда может быть равно нулю, поэтому существует переходная область конечной ширины.

- Ширина переходной области зависит от порядка фильтра, ширина уменьшается при увеличении порядка.

- Выходной сигнал КИХ фильтров зависит только от текущих и прошедших входных значений. Выходной сигнал БИХ фильтров зависит от текущих, прошедших входных значений, а также от прошедших выходных значений.

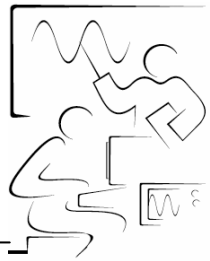
- БИХ фильтры можно классифицировать в соответствии с наличием или отсутствием волнистости в ПП и/или в ПР.

- Поскольку выход БИХ фильтра зависит от прошедших выходных значений, то при каждом вызове соответствующего ВП на его выходе возникает переходной процесс. Его можно исключить уже после первого вызова ВП, устанавливая значение входа **init/cont** в состояние ИСТИНА.

- • Используйте экспресс-ВП Spectral Measurements Express и Filter для быстрой настройки параметров вычисления спектра и опций фильтрации для конкретного входного сигнала.

Примечания

Занятие 7
Аналоговый вывод



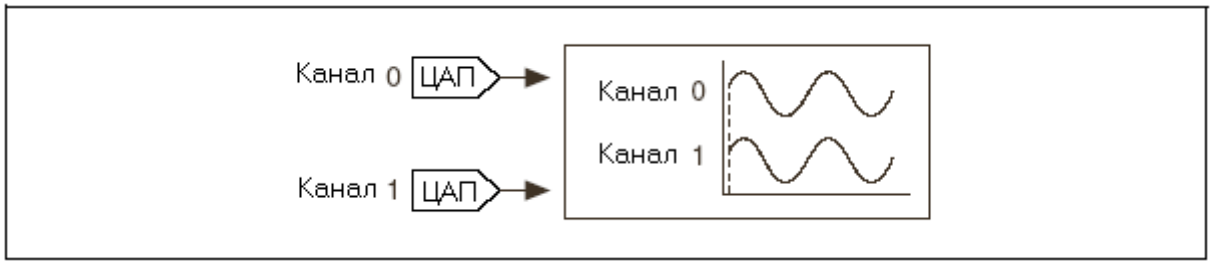
На данном занятии вы изучите генерацию аналоговых сигналов. Большая часть того, что вы проходили для аналогового ввода, схожа с аналоговым выводом

Задачи:

A. Архитектура вывода аналоговых сигналов
B. Функции аналогового вывода
C. Выполнение одноточечного аналогового вывода
D. Непрерывная генерация аналогового сигнала
E. Буферизированный аналоговый вывод
F. Непрерывный буферизированный аналоговый вывод
G. Триггеры в операциях аналогового вывода

A. Архитектура вывода аналоговых сигналов

Большинство устройств E-серии имеют цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) для каждого из каналов аналогового вывода. Цифро-аналоговые преобразователи обновляются одновременно, так что для операций вывода необходим лишь один тактовый генератор. Тактовый генератор аналогового вывода создает сигнал регенерации (update clock). Выходные сигналы каналов аналогового вывода синхронизированы таким же образом, как и каналы аналогового ввода при одновременной выборке сигналов.



Обзор вывода аналоговых сигналов

ЦАП имеет рабочий диапазон, определяемый опорным напряжением. В качестве опорного напряжения может быть внутренний или внешний сигнал. Внутреннее опорное напряжение равно + 10 вольтам. Рабочий диапазон ЦАП можно установить однополярным либо биполярным.

Биполярный рабочий диапазон

Биполярный сигнал имеет диапазон, содержащий положительные и отрицательные значения. Если вы установите устройство в режим биполярного сигнала, то рабочий диапазон ЦАП определяется следующим образом:

- Максимальное напряжение = $+V_{ref}$
- Минимальное напряжение = $-V_{ref}$

Например, если вы используете внутреннее опорное напряжение величиной +10 В, то рабочий диапазон ЦАП будет установлен от –10 до +10 В. Однако если сигнал будет изменяться от –5 до +5 В, то вы не сможете использовать максимальное разрешение ЦАП. Чтобы разрешение довести до максимума, можно установить внутреннее опорное напряжение величиной +5 В. Теперь рабочий диапазон ЦАП будет равен от –5 до +5 В, совпадая с диапазоном изменения сигнала, и вы будете целиком использовать разрешающую способность ЦАП для генерации сигнала.

Однополярный рабочий диапазон

Однополярный сигнал имеет диапазон изменений, содержащий только положительные значения. Если вы установите устройство в режим однополярного сигнала, то рабочий диапазон ЦАП определяется следующим образом:

- Максимальное напряжение = $+V_{ref}$
- Минимальное напряжение = 0 В

Например, если вы используете внутреннее опорное напряжение величиной +10 В, то рабочий диапазон ЦАП будет установлен от 0 до +10 В. Однако если сигнал будет изменяться от 0 до +5 В, то вы не сможете использовать максимальное разрешение ЦАП. Чтобы разрешение довести до максимума, можно установить внутреннее опорное напряжение величиной +5 В. Теперь рабочий диапазон ЦАП будет равен от 0 до +5 В, совпадая с диапазоном изменения сигнала, и вы будете целиком использовать разрешающую способность ЦАП для генерации сигнала.

B. Использование ВП Запись DAQmx

ВП DAQmx Write, расположенный в палитре **DAQmx - Data Acquisition**, записывает выборки в определенные вами задачу или каналы. Конфигуратор этого полиморфного ВП задает формат выборок для записи, записывать ли одну или несколько выборок, и записывать ли в один или несколько каналов. На данном занятии будут описаны настройки аналогового вывода ВП DAQmx Write. Для выбора настроек этого ВП используйте выпадающее меню.

Существует четыре меню выбора параметров ВП DAQmx Write. Первое меню позволяет выбрать тип выходного сигнала:

- Аналоговый
- Цифровой
- Необработанные данные

Во втором меню можно задать число каналов для записи, а также запись данных непосредственно в устройство без предварительного масштабирования (unscaled). Третье меню позволяет выбрать генерацию одной (single sample) или нескольких выборок (multiple samples). При выборе одноточечной генерации данных используйте четвертое меню для задания формата записываемых данных: осциллограмма (waveform) или число с плавающей запятой удвоенной точности (DBL). При выборе генерации нескольких точек используйте это меню для записи данных в виде осциллограммы или массива числовых значений удвоенной точности.

При генерации одной выборки терминал **auto start** по умолчанию имеет значение истина. Это происходит потому, что модель состояния задачи может полностью неявным образом контролировать генерацию отдельной выборки. Однако при выводе нескольких точек данных терминал **auto start** по умолчанию имеет значение ложь. Это обусловлено тем, что теперь необходима настройка дополнительных параметров тактирования при помощи ВП DAQmx Timing, и в этом случае понадобится использование ВП DAQmx Start Task и DAQmx Stop Task. За большей информацией о модели состояния DAQmx задачи обращайтесь ко второму занятию, *Оборудование и программное обеспечение систем сбора данных*.

Генерация одной выборки

В случаях, когда уровень сигнала гораздо более важен, чем скорость генерации, выходной сигнал представляет собой только одну выборку. Таким образом, если вам нужно сгенерировать постоянный сигнал генерируйте одну выборку за раз. Управлять моментом генерации можно при помощи программного тактирования, а также тактирования с использованием аппаратных средств.

- **Программно управляемое тактирование** – Скорость, с которой генерируются выборки, определяется программой и операционной системой, но не устройством сбора данных. Поскольку в этом случае генерация всецело зависит от ресурсов вашей операционной системы, любые прерывания системы могут влиять на генерацию.
- **Аппаратно управляемое тактирование** – ТТЛ сигнал, такой как тактовые импульсы

генератора DAQ устройства, управляет скоростью генерации. В этом случае генерация может происходить с гораздо большей скоростью и точностью, чем при программно управляемом тактировании. Не все устройства поддерживают такой режим тактирования. Чтобы узнать, поддерживает ли ваше устройство аппаратно управляемое тактирование, посмотрите документацию к устройству.

Настройки тактирования при генерации аналогового сигнала

Для задания программно или аппаратно управляемого тактирования используйте ВП DAQmx Timing и/или узел свойств DAQmx Sample Timing. Выбирая настройку конфигуратора **Sample Clock** ВП Timing или устанавливая для узла свойств Sample Timing Type значение Sample Clock, вы говорите DAQmx, что хотите использовать генератор выборки (Sample Clock) вашего DAQ устройства для управления генерацией. При программно управляемой генерации установите для узла свойств Sample Timing Type значение **On Demand**. Если вы не задали тип тактирования при помощи ВП DAQmx Timing или узла свойств DAQmx Sample Timing Type, то будет использоваться программно управляемая генерация.

Кроме этого, ВП DAQmx Timing содержит опцию **Use Waveform** в меню конфигуратора. В этом случае для определения частоты выборки используется компонента осциллограммы **dt**, которая равна времени (в секундах) между выборками. С такой настройкой будет осуществляться аппаратно управляемая генерация аналогового сигнала. На самом деле, опция Use Waveform ВП DAQmx Timing не заставляет выводить значения осциллограммы, она лишь использует осциллограмму для настройки тактирования. Для того чтобы сгенерировать сигнал, присоедините осциллограмму к ВП DAQmx Write.

Упражнение 7-1. Генерация одной выборки данных

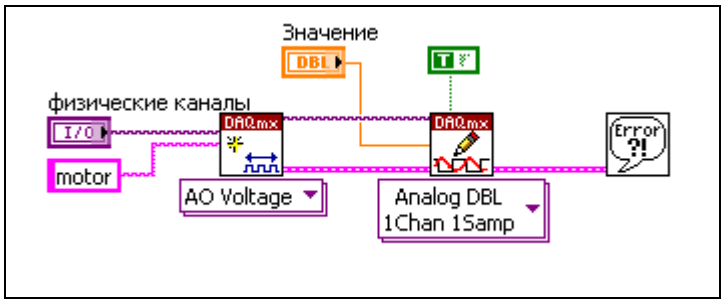
Задача: Создать ВП, генерирующий сигнал величиной + 5 вольт

В данном упражнении вы будете использовать канал аналогового вывода DAQ устройства для питания сервомотора.

Примечание. Скорость вращения сервомотора пропорциональна напряжению, которым он приводится в движение. При увеличении напряжения, увеличивается и скорость вращения мотора.

1. На испытательной коробке присоедините аналоговый вывод 0 к аналоговому вводу 1.

2. Откройте новый ВП и постройте следующую блок-диаграмму. Для создания элементов управления и констант щелкните правой кнопкой на входах и выберите **Create»Control** или **Create»Constant** в контекстном меню.



a. Поместите ВП DAQmx Create Virtual Channel, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП создает виртуальный канал в соответствии с настройками входных терминалов. Выберите тип канала **Analog Output»Voltage** из выпадающего меню. Назовите этот канал `motor`.

b. Поместите ВП DAQmx Write, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот полиморфный ВП генерирует напряжение, основываясь на типе данных, которые задали в выпадающем меню. Выберите в выпадающем меню конфигуратора опцию **Analog»Single Channel»Single Sample»DBL**. Поскольку вы выбрали одну выборку, то значение по умолчанию для ввода **auto start** будет Истина. При такой настройке конфигуратора ВП DAQmx Write вам не надо использовать ВП Start/Stop Task. Однако вы все же будете использовать эти ВП в следующем упражнении.

c. Поместите простейший обработчик ошибок Simple Error Handler, расположенный в палитре **Functions»All Functions»Time & Dialog**, на блок-диаграмму. В случае возникновения ошибки этот ВП вызовет диалоговое окно с информацией, касающейся ошибки и ее источника.

3. На лицевой панели установите следующие значения для элементов управления:

- **Физический канал**: `Dev X/ao0`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства.
- **Значение**: `5`

4. Сохраните ВП с именем `Servo Fan.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

5. Запустите ВП. DAQ устройство сгенерирует напряжение +5 вольт на аналоговом выходе 0 на испытательной коробке. Поскольку вы не задали явно тактирование с использованием генератора выборки, данная генерация будет программно тактируемой.

6.Откройте ВП Voltmeter, расположенный в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

7. Установите для элементов управления этого ВП следующие значения:

Физический канал: `Dev X/ai1`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства.

8. Запустите ВП Voltmeter. Вы должны увидеть напряжение +5 вольт на стрелочном индикаторе.

9. Закройте все ВП после окончания работы.

Конец упражнения 7-1

Упражнение 7-2. Непрерывная одноточечная генерация.

Задача: Создать ВП для генерации переменного напряжения.

В данном упражнении вы модифицируете ВП Servo Fan, созданный упражнении 7-1, чтобы управлять скоростью вращения вентилятора. Для этого вы должны иметь возможность непрерывно обновлять канал аналогового вывода устройства сбора данных.

1. На испытательной коробке присоедините аналоговый вывод 0 к аналоговому вводу 1.

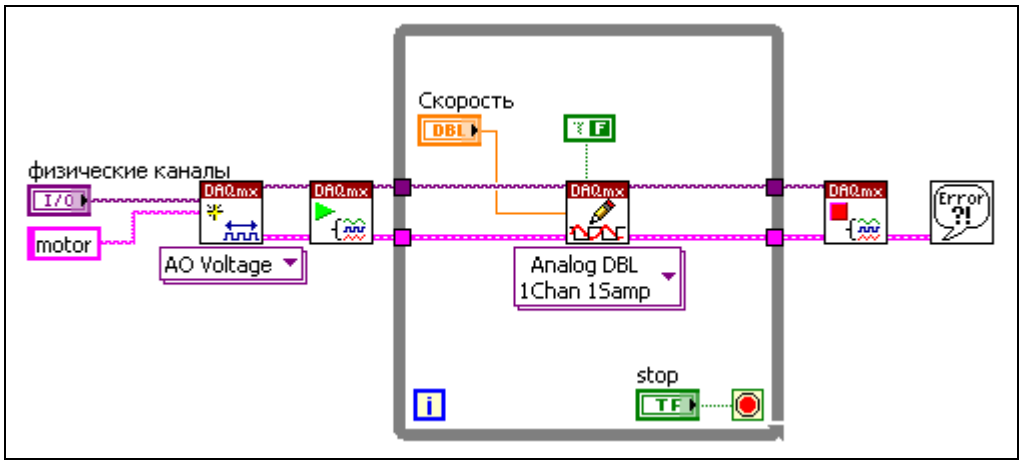
2. Откройте ВП Servo Fan, расположенный в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

3. Выберите меню **File»Save As** и сохраните ВП с именем `Variable Servo Fan.vi` в диретории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

4. На лицевой панели замените числовой элемент управления **Значение** горизонтальным ползунком, расположенным в палитре **Controls»Numeric Controls**, нажимая правой кнопкой мыши на числовом элементе управления и выбирая **Replace** из появившегося контекстного меню. Выберите горизонтальный ползунок (Slide) из палитры **Numeric Controls**. Назовите его **Скорость**.

Блок-диаграмма

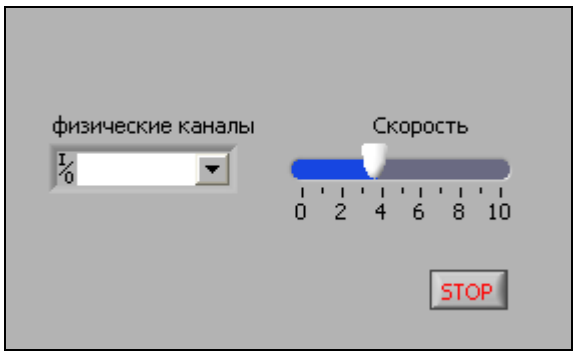
5. Измените блок-диаграмму, как показано на следующем рисунке.



a. Поместите ВП DAQmx Start Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП запускает данную задачу. Поскольку вы используете ВП Start Task, вы должны изменить значение входа **auto start** на Ложь.

b. Поместите ВП DAQmx Stop Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП останавливает данную задачу.

6. Измените лицевую панель как показано на следующем рисунке.



7. Сохраните ВП.

8. Откройте ВП Continuous Acquire with MIO, расположенный в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`. Установите для элементов лицевой панели следующие значения:

- **Физические каналы**: `Dev X/ai1`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства.
- **#выборок на канал**: `1000`
- **Частота выборки**: `1000`

9. Запустите ВП Continuous Acquire with MIO.

10. Установите для элементов лицевой панели ВП Variable Servo Fan следующие значения:

Физический канал: `Dev X/ao0`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства.

11. Запустите ВП Variable Servo Fan. Измените значение элемента управления **Скорость** и наблюдайте напряжение, которое генерирует ВП.

12. Закройте все ВП после окончания работы.

Конец упражнения 7-2

C. ВП буферизированного аналогового вывода

Для генерации нескольких выборок аналогового сигнала выберите в выпадающем меню конфигуратора ВП DAQmx Write опцию multiple samples. Такой тип генерации используется для вывода сигнала, изменяющегося во времени, такого как синусоидальная волна. Многоточечная генерация известна также как буферизированный аналоговый вывод. Буферизированный аналоговый вывод может осуществлять непрерывную генерацию данных и генерацию данных конечной длительности. В обоих случаях процесс буферизации содержит следующие два этапа:

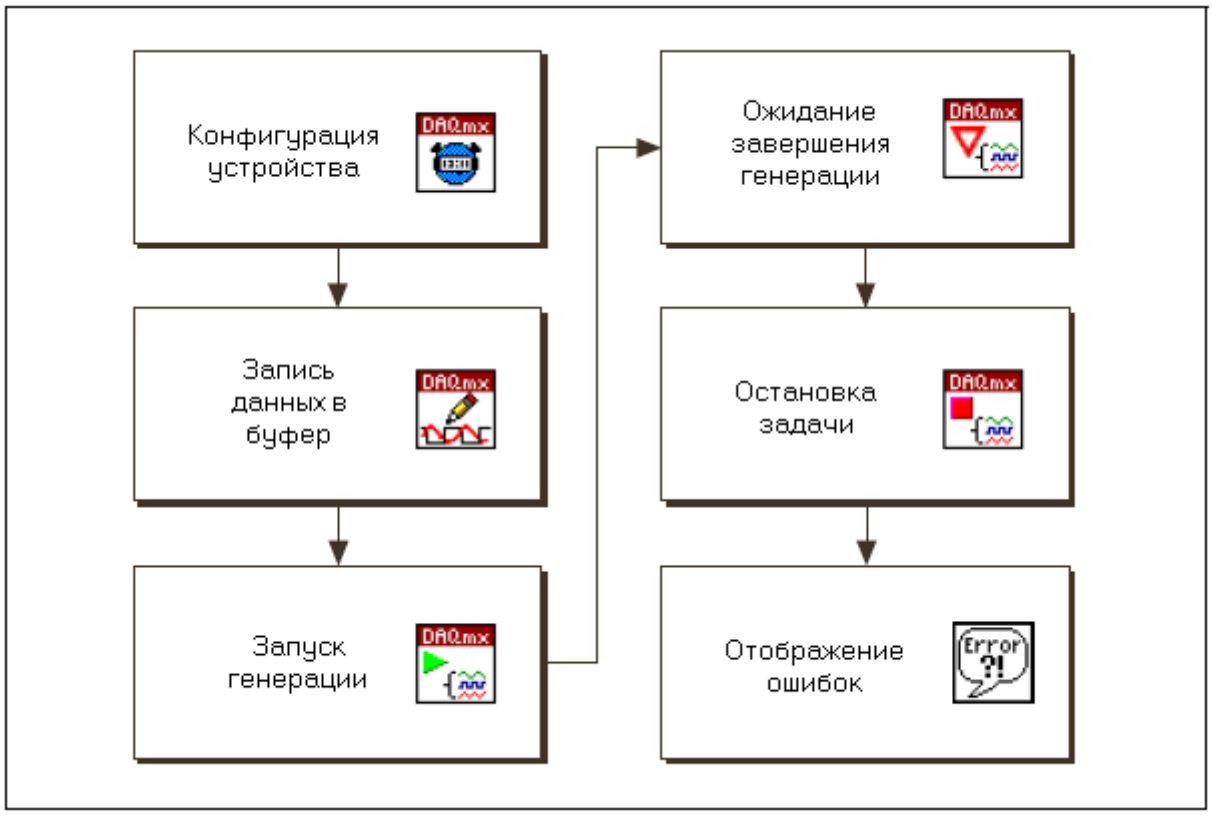
1. Запись выборок в буфер. Точки данных забираются из LabVIEW и помещаются в промежуточный буфер в памяти перед отправкой их в DAQ устройство. Буферизированная генерация напоминает отправление всего электронного письма за раз вместо отправки сообщения по одному слову.

2. Перемещение выборок из буфера в устройство сбора данных. Скорость перемещения зависит от заданных параметров тактирования. Как и при одноточечной генерации, здесь используется программное или аппаратное тактирование.

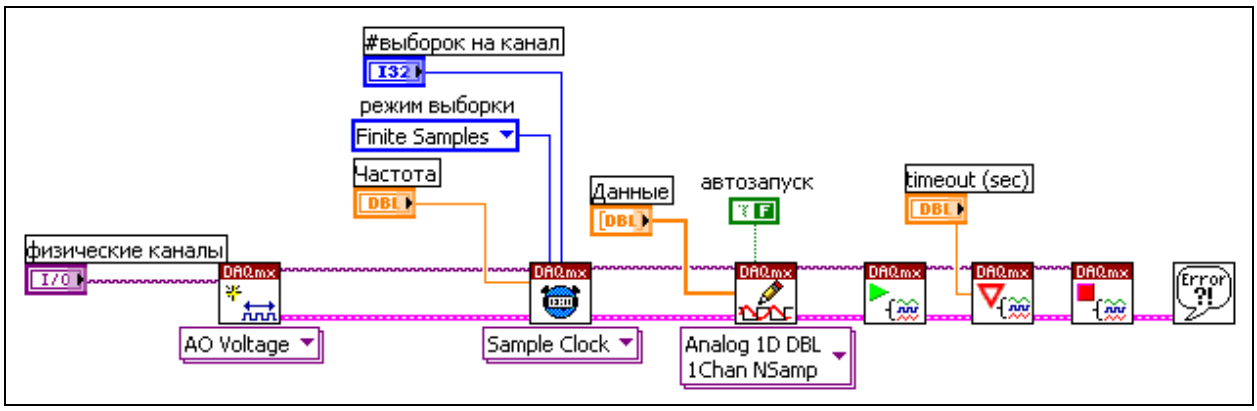
При аппаратном тактировании тактовый сигнал, называемый сигналом регенерации, управляет скоростью генерации. Аппаратный тактовый генератор может работать гораздо быстрее, чем программные циклы, так что вы можете создавать сигналы различной формы в большем диапазоне частот. Кроме этого, тактовый генератор более точен по сравнению с программными циклами. Последние подвергаются влиянию различных действий операционной системы, таких как открытие других приложений.

D. Буферизированная генерация сигналов конечной длительности

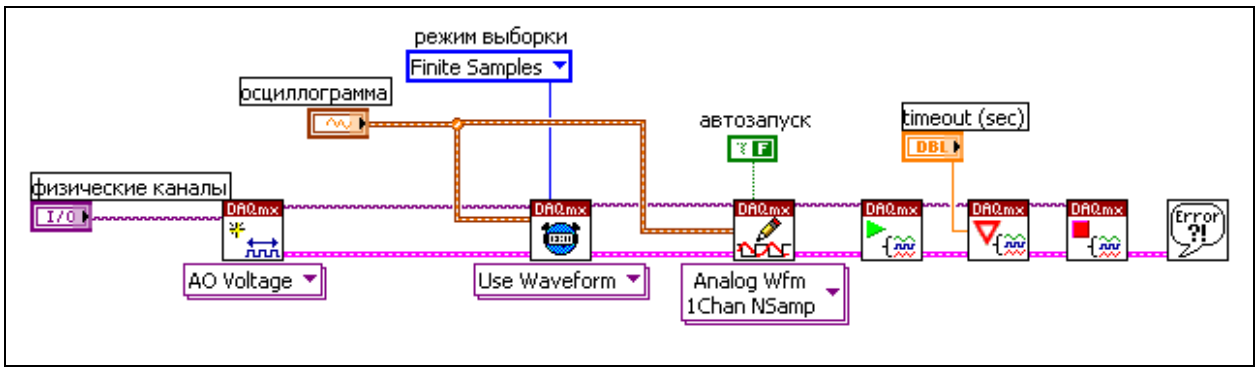
Следующая иллюстрация показывает блок-схему буферизированной генерации сигналов.



Следующий рисунок показывает пример типичной генерации сигналов конечной длительности с использованием тактовых импульсов выборки (Sample Clock) и массива чисел удвоенной точности для выходных данных.



Вы можете использовать также тип данных «осциллограмма» для задания временных параметров генерации и выборок данных. Эта ситуация показана на следующем рисунке.



Существует небольшая разница между двумя указанными типами генерации сигналов конечной длительности – использование массива чисел удвоенной точности совместно с тактовым генератором выборки и использование типа данных «осциллограмма» для задания режима работы тактового генератора и выборок. Опции конфигуратора ВП DAQmx Timing изменяются вместе с данными, подключаемыми к терминалу **data** ВП DAQmx Write. Оба типа генерации имеют, в общем, одинаковую структуру, к описанию которой мы сейчас и переходим.

Для программного управления созданием виртуального канала аналогового вывода можно использовать ВП Create Virtual Channel. Если вы уже создали виртуальный канал или задачу с использованием Помощника по сбору данных в MAX, вы можете пропустить этот ВП и присоединить имя канала/задачи к следующему ВП – DAQmx Timing.

ВП DAQmx Timing имеет две опции конфигуратора, которые можно использовать в операциях аналогового вывода, – тактовые импульсы выборки (Sample Clock) и использовать осциллограмму (Use Waveform). Поскольку мы генерируем конечное число выборок, установите для опции **sample mode** значение Finite Samples в обоих случаях. При использовании тактовых импульсов выборки (Sample Clock) мы должны также задать частоту регенерации **rate** и число выборок **number of samples**. Количество выборок определяет размер буфера. При использовании же опции Use Waveform просто присоедините осциллограмму к терминалу **waveform**. В этом случае частота тактового генератора выборки и число выборок (размер буфера) будут определяться на основе данных, содержащихся в осциллограмме.

ВП DAQmx Write фактически отправляет данные в буфер персонального компьютера. Вы можете выбрать генерацию в виде осциллограммы либо массива чисел удвоенной точности. При выборе опции Use Waveform в конфигураторе ВП DAQmx Timing выберите генерацию в виде осциллограммы в выпадающем меню ВП DAQmx Write. Присоедините ту же осциллограмму, которую использовали для установки тактирования, к терминалу **data** ВП DAQmx Write. При использовании встроенного генератора выборки (Sample Clock) для тактирования, выберите в выпадающем меню ВП DAQmx Write выход в виде массива чисел удвоенной точности. В этом случае, присоедините массив чисел удвоенной точности, приготовленный для генерации, к терминалу **data** ВП DAQmx Write.

При генерации за раз нескольких выборок параметр **auto start** по умолчанию имеет значение Ложь. Поскольку мы будем явно запускать задачу, ожидать ее завершения и затем останавливать задачу, то оставим значение **auto start** в состоянии Ложь.

ВП DAQmx Start запускает генерацию. ВП DAQmx Wait Until Done ожидает завершения задачи, иначе возникнет пауза. В любом случае управление переходит затем к

ВП DAQmx Stop Task, который останавливает задачу. И, как обычно при программировании на LabVIEW в течение данного курса, все ВП соединяет кластер ошибок, поэтому в случае возникновения ошибки появляется сообщение.

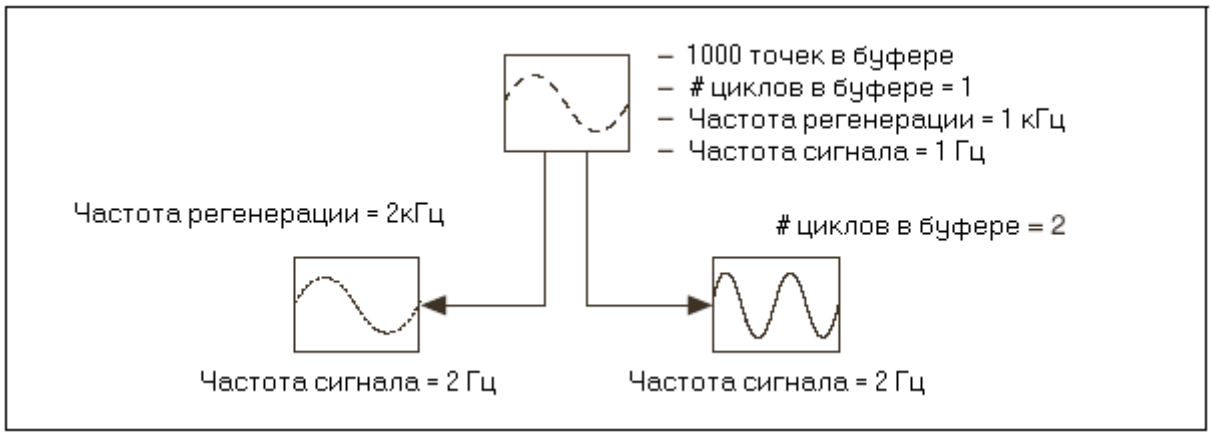
ВП DAQmx Reset

В операциях аналогового вывода при записи значения в выходной канал он продолжает выдавать это напряжение до тех пор, пока новое значение не будет записано в этот канал, либо устройство не будет приведено в исходное состояние с помощью ВП DAQmx Reset (расположен в палитре **DAQmx - Data Acquisition»DAQmx Device Configuration**), либо устройство не будет выключено совсем.

Предположим, что вы записываете синусоидальный сигнал в канал аналогового вывода, и последнее значение, сохраненное в буфере равно семи. Вы генерируете осциллограмму целиком, и после того, как генерация завершилась, канал аналогового вывода продолжает выдавать напряжение в семь вольт. Вместо постоянного приведения устройства в исходное состояние, проще записать нулевое значение в канал после окончания генерации. С этой целью можно использовать ВП AO Write One Update, расположенный в палитре **Utility**.

Частота генерируемой осциллограммы

Частота генерируемой осциллограммы зависит от частоты регенерации (update rate) и числа циклов осциллограммы, находящихся в буфере. Эта ситуация показана на следующем рисунке.



Частоту выходного сигнала можно вычислить по следующей формуле:

Частота сигнала = [(циклы)· (частота регенерации)]/(кол-во точек в буфере)

Следующий пример иллюстрирует, как частота регенерации (обновления) и число циклов осциллограммы в буфере влияют на частоту сигнала. Предположим, что у вас имеется 1000 точек в буфере, которые составляют один период осциллограммы. Если вы производите генерацию сигнала с частотой обновления 1 кГц, то частота сигнала определяется как

[(1 цикл) · (1000 точек в секунду)]/(1000 точек) = 1 Гц

Если вы удвоите частоту регенерации, а все остальные параметры оставите прежними, то

частота сигнала изменится:

[(1 цикл) · (2000 точек в секунду)]/(1000 точек) = 2 Гц

Если вы удвоите число циклов в буфере, а все остальные параметры оставите прежними, то частота сигнала будет равна:

[(2 цикла) · (1000 точек в секунду)]/(1000 точек) = 2 Гц

Таким образом, при удвоении частоты регенерации или числа циклов вы удваиваете частоту выходной осциллограммы.

Упражнение 7-3. Буферизированная генерация сигнала.

Задача: Создать ВП для генерации осциллограммы.

Примечание. Данное упражнение предусматривает использование звуковых колонок со встроенным усилителем. Если в вашей системе такого оборудования нет, замените данное упражнение упражнением 7-4.

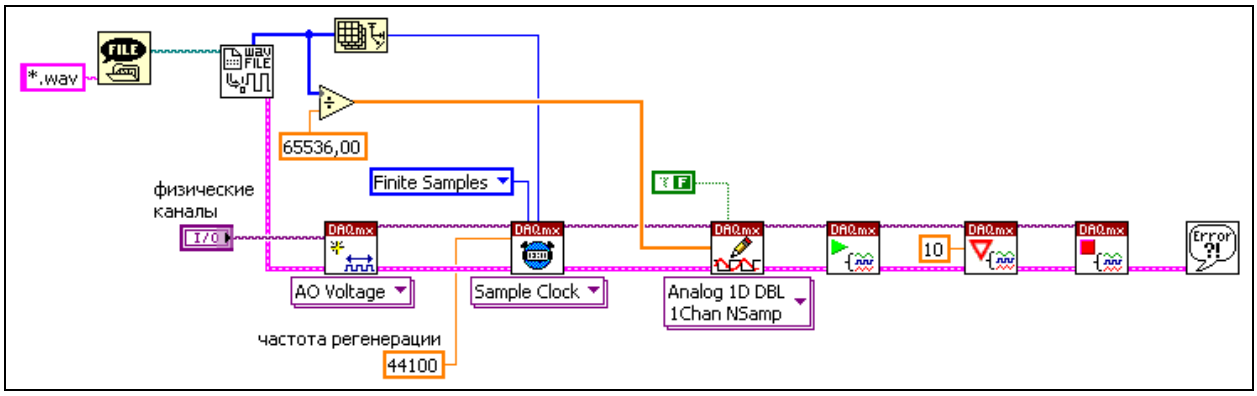
В данном упражнении вы создадите ВП, проигрывающий WAV файл при помощи DAQ устройства.

1. Присоедините один провод от колонок к аналоговому выводу 0 на испытательной коробке. Другой провод от колонок присоедините к контакту GND также на испытательной коробке. О полярности подключения можно не заботиться.

2. Откройте новый ВП.

Блок-диаграмма

3. Создайте блок-диаграмму, как показано на следующем рисунке.



a. Поместите функцию File Dialog, расположенную в палитре **Functions»All Functions»File I/O»Advanced File I/O Functions**, на блок-диаграмму. Эта функция отображает диалоговое окно для выбора файла. Чтобы облегчить поиск WAV файлов на компьютере, щелкните правой кнопкой мыши на вводе **pattern** и выберите **Create»Constant** из появившегося контекстного меню. Введите `*.wav` для поиска только WAV файлов.

b. Поместите ВП Snd Read Wave File, расположенный в палитре **Functions»All Functions»Graphics & Sound»Sound»Sound File**, на блок-диаграмму. Этот ВП извлекает волновой файл ПК (`.wav`), считывает его заголовок и возвращает двоичные звуковые данные, находящиеся в файле. Выберите выход, совпадающий с типом WAV файла, который вы считываете. В данном случае используйте выход формата **mono 16-bit**.

c. Поместите функцию деления, расположенную в палитре **Functions»Arithmetic & Comparison»Express Numeric**, на блок-диаграмму. В данном упражнении эта функция будет менять масштаб 16-битных (2^{16} = 65536) данных, чтобы они принимали значение в диапазоне от -1 до 1.

d. Поместите функцию Array Size, расположенную в палитре **Functions»All Functions»Array** на блок-диаграмму. Эта функция возвращает количество

выборок, находящихся в WAV файле. Эту величину мы будем использовать для определения количества выборок на канал (размер буфера), которое будет задавать ВП DAQmx Timing.

e. Поместите ВП DAQmx Create Virtual Channel, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition** на блок-диаграмму. Этот ВП создает виртуальный канал для заданного физического канала. Выберите из выпадающего меню конфигуратора этого ВП опции **Analog Output»Voltage**. Щелкните правой кнопкой мыши на вводе **physical channels** и выберите **Create»Control** из появившегося контекстного меню.

f. Поместите ВП DAQmx Timing, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition** на блок-диаграмму. Этот ВП настраивает тактирование задачи. Щелкните правой кнопкой мыши на вводе **rate** и выберите **Create»Constant** из появившегося контекстного меню. Используемый для примера WAV файл оцифрован с частотой 44100 Гц, так что для ввода **rate** введите `44100`.

g. Поместите ВП DAQmx Write, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition** на блок-диаграмму. Этот ВП записывает данные в буфер для выполнения операции буферизированного аналогового вывода сигнала конечной длительности. Из выпадающего меню конфигуратора последовательно выберите следующие опции **Analog»Single Channel»Multiple Samples»1D DBL**.

h. Поместите ВП DAQmx Start Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition** на блок-диаграмму. Этот ВП запускает буферизированную генерацию аналогового сигнала.

i. Поместите ВП DAQmx Wait Until Done, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition** на блок-диаграмму. Этот ВП ожидает завершения выполнения задачи.

j. Поместите ВП DAQmx Stop Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition** на блок-диаграмму. Этот ВП останавливает задачу аналогового вывода.

k. Поместите ВП Simple Error Handler, расположенный в палитре **Functions»All Functions» Time & Dialog** на блок-диаграмму. В случае возникновения ошибки этот ВП вызовет диалоговое окно с информацией об ошибке и месте ее возникновения.

Лицевая панель

4. Установите для элемента управления **физические каналы** значение `Dev X/ao0`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства.

5. Сохраните ВП с именем `Tone Generation (7-3).vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

6. Установите ручку громкости динамиков в среднее положение.

7. Запустите ВП. Возникнет диалоговое окно, запрашивающее WAV файл. Выберите `NISoundFile.wav`, расположенный в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`. Вы должны услышать WAV файл из динамиков.
8. Закройте ВП.

Конец упражнения 7-3

Упражнение 7-4 (Необязательное). Буферизированная генерация сигнала

Задача: Создать ВП для генерации осциллограммы.

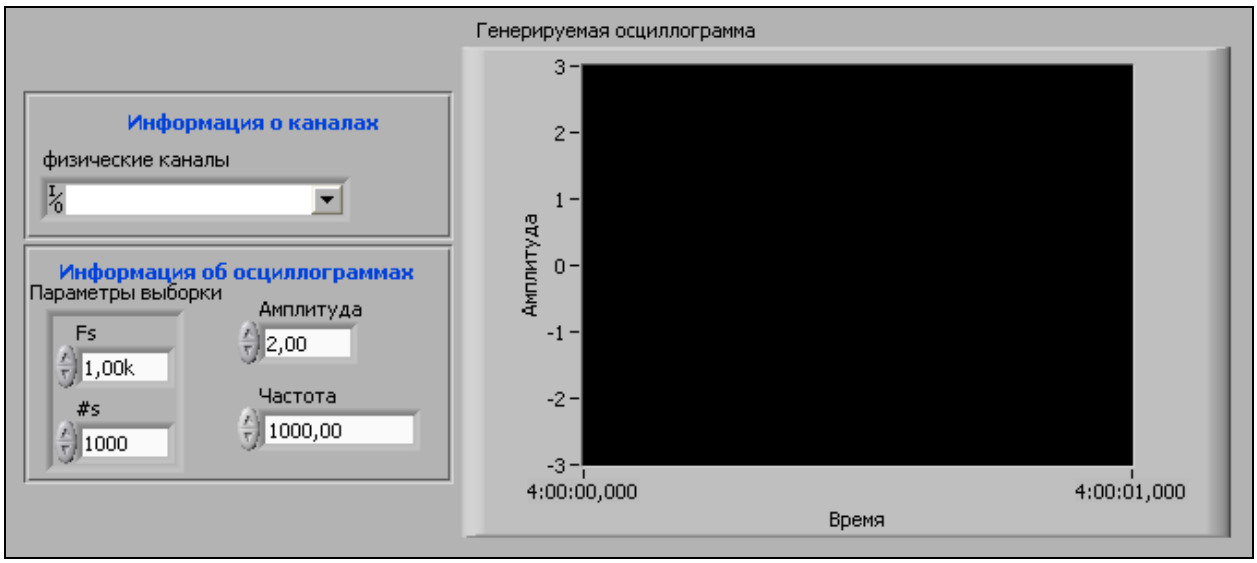
Примечание. Замените этим упражнением предыдущее для систем, не имеющих динамиков со встроенным усилителем.

В этом упражнении вы создадите ВП, производящий звуковой сигнал путем генерации синусоидальной волны в акустическом диапазоне частот (от 20 Гц до 16 кГц) и использующий синусоиду для управления динамиком.

1. На испытательной коробке присоедините аналоговый вывод 0 к аналоговому вводу 1.

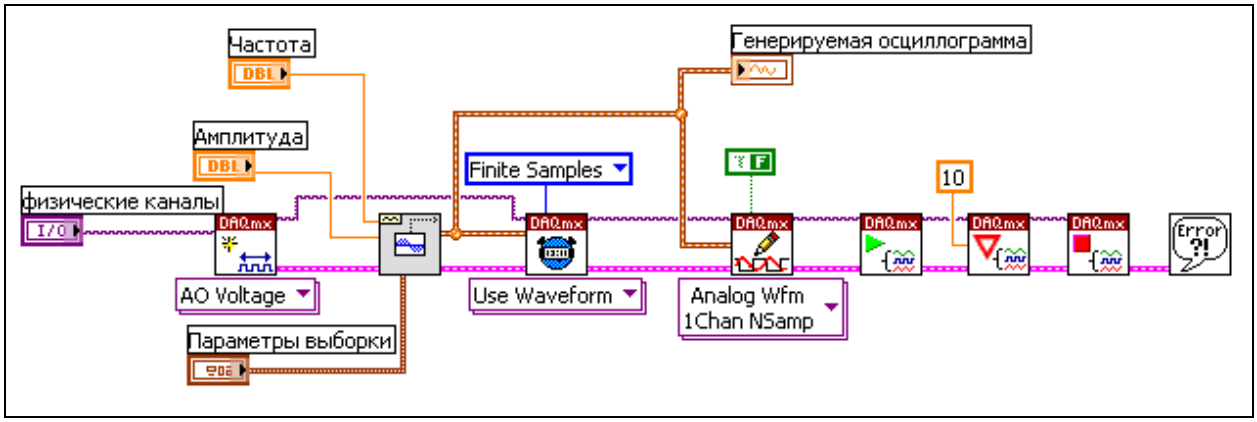
Лицевая панель

2. Откройте ВП Tone Generation (7-4), расположенный в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`. Отобразится следующая лицевая панель.



Блок-диаграмма

3. Создайте следующую блок-диаграмму.



a. Поместите ВП DAQmx Create Virtual Channel, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition** на блок-диаграмму. Этот ВП создает виртуальный канал для заданного физического канала. Выберите из выпадающего меню конфигуратора этого ВП опции **Analog Output»Voltage**. Щелкните правой кнопкой мыши на вводе **physical channels** и выберите **Create»Control** из появившегося контекстного меню.

b. Поместите ВП Sine Waveform, расположенный в палитре **Functions»All Functions»Waveform»Waveform Generation**, на блок-диаграмму. Этот ВП генерирует синусоидальный сигнал.

c. Поместите ВП DAQmx Timing, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition** на блок-диаграмму. Этот ВП настраивает тактирование задачи.

d. Поместите ВП DAQmx Write, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition** на блок-диаграмму. Этот ВП записывает данные в буфер для выполнения операции буферизированного аналогового вывода сигнала конечной длительности. Из выпадающего меню конфигуратора последовательно выберите следующие опции **Analog»Single Channel»Multiple Samples»Waveform**.

e. Поместите ВП DAQmx Start Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition** на блок-диаграмму. Этот ВП запускает буферизированную генерацию аналогового сигнала.

f. Поместите ВП DAQmx Wait Until Done, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition** на блок-диаграмму. Этот ВП ожидает завершения выполнения задачи.

g. Поместите ВП DAQmx Stop Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition** на блок-диаграмму. Этот ВП останавливает задачу аналогового вывода.

h. Поместите ВП Simple Error Handler, расположенный в палитре **Functions»All Functions» Time & Dialog** на блок-диаграмму. В случае возникновения ошибки этот ВП вызовет диалоговое окно с информацией об ошибке и месте ее возникновения.

4. Сохраните ВП.

5. Откройте ВП Continuous Acquire with MIO, расположенный в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`. Используйте этот ВП для наблюдения выходного сигнала, сгенерированного при помощи ВП Tone Generation (7-4).

6. Установите следующие значения для элементов управления на лицевой панели ВП Continuous Acquire with MIO:

- **Физические каналы**: `Dev X/ai1`, где `X` ссоответствует номеру вашего DAQ устройства
- **#выборок на канал**: `5000`
- **Частота выборки**: `10000`

7. Запустите ВП Continuous Acquire with MIO.

8. На лицевой панели ВП Tone Generation (7-4) установите следующие значения для

элементов управления:

- **Физический канал**: `Dev X/ao0`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства
- **Амплитуда**: `1`
- **Частота**: `10000`
- **Параметры выборки**

  – **Fs**: `100000`— Определяет частоту выборки осциллограммы, которую генерирует ВП Sine Waveform.

  – **#s**: `100000`— Задает число выборок осциллограммы, которую генерирует ВП Sine Waveform.

9. Запустите ВП Tone Generation (7-4). Синусоидальный сигнал появится на графике. Если аналоговый выход 1 присоединен к динамику ПК, вы услышите звуковой сигнал одного тона.

10. После остановки ВП Tone Generation (7-4), измените значения следующих элементов управления на лицевой панели:

- **Частота**: `10`
- **Параметры выборки**

  – **Fs**: `1000`

  – **#s**: `1000`

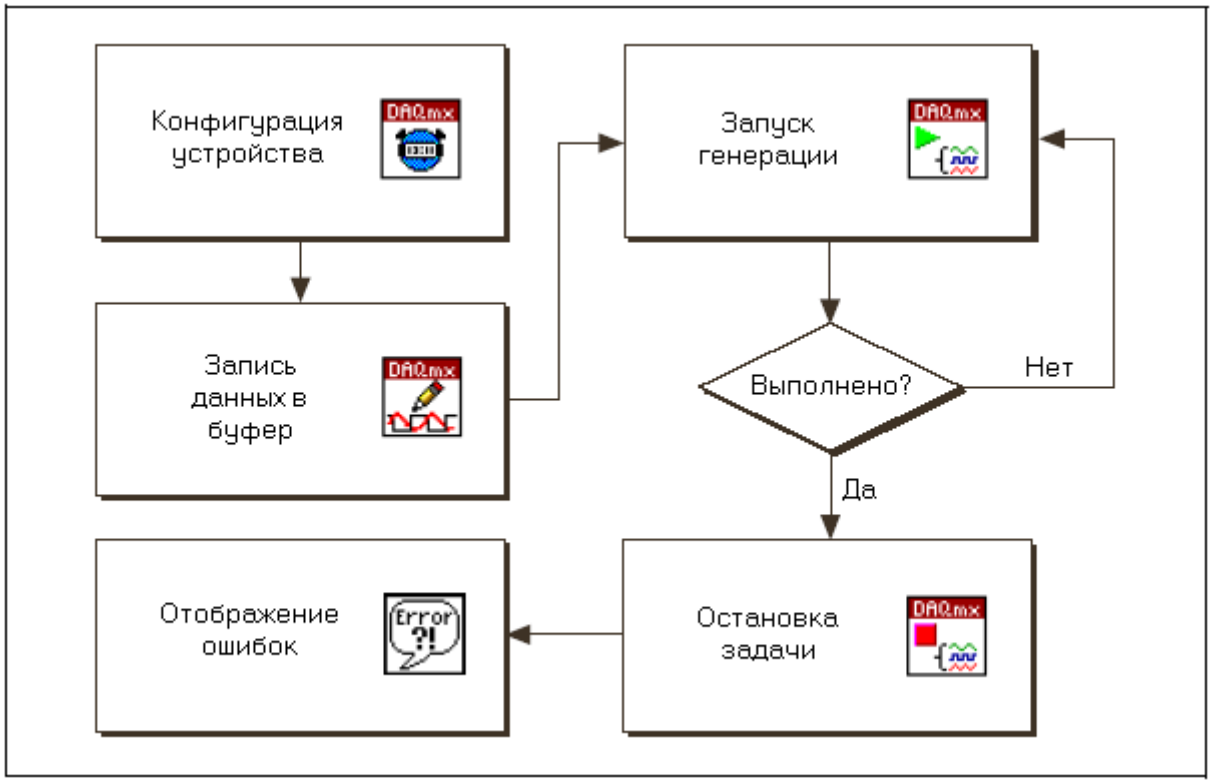
11. Запустите ВП Tone Generation (7-4) снова.

12. Закройте все ВП.

Конец упражнения 7-4

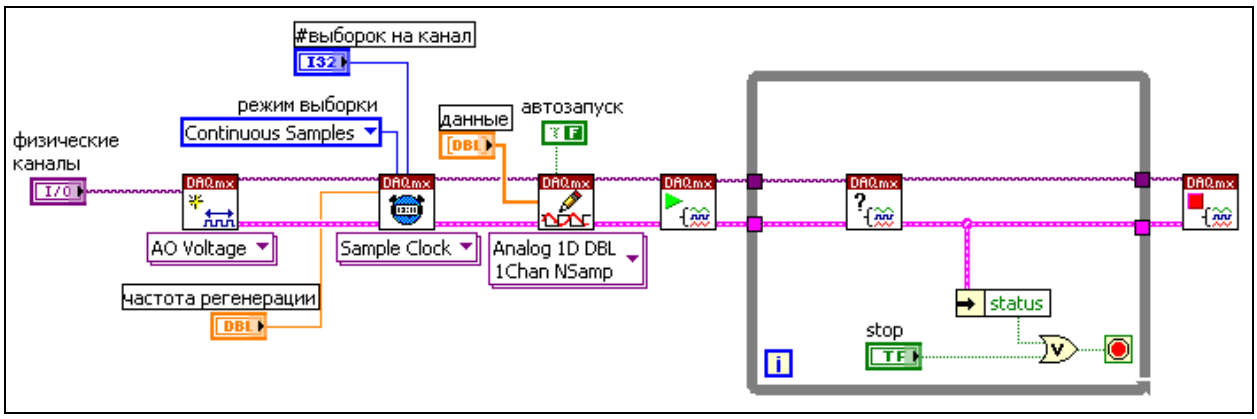
E. Непрерывная буферизированная генерация сигналов

Основное различие между генерацией сигналов конечной длительности и непрерывной буферизированной генерацией заключается в количестве генерируемых точек данных. При буферизированной генерации сигналов конечной длительности вы генерируете данные, находящиеся в буфере, конечное число раз. При непрерывной буферизированной генерации вы можете генерировать данные неограниченное количество раз.



Следующий рисунок похож на буферизированную генерацию сигналов, за исключением некоторых отличий:

- ВП DAQmx Timing установлен в режим непрерывной выборки Continuous Samples.
- В цикле по условию вместо ВП DAQmx Wait Until Done используется ВП DAQmx Is Task Done.



Настройка виртуального канала и параметров тактирования начинается с использования ВП Create Virtual Channel и ВП Timing. Затем происходит запись в буфер при помощи ВП DAQmx Write, и ВП DAQmx Start Task начинает выполнение задачи.

Цикл по условию совместно с ВП DAQmx Is Task Done используется для опроса задачи на предмет окончания ее выполнения. Генерация будет прекращена либо когда пользователь нажмет кнопку стоп, либо когда возникнет ошибка. После того, как данные в буфере будут целиком обработаны, они будут непрерывно регенерироваться. После остановки цикла по условию ВП DAQmx Stop Task прекратит выполнение задачи и, если ошибки имели место, появится сообщение об ошибках.

Примечание. На каждой итерации цикла вы можете записывать новые данные в буфер. Для этого необходимо поместить ВП Write внутрь цикла и присоединить новые данные к терминалу данных этого ВП. Используя узел свойств Write property node, выберите свойство Regeneration Mode и установите его в состояние don’t Allow Regeneration. Вы должны быть уверены, что достаточно быстро генерируете новые данные во избежание выдачи из буфера старых данных. Эта ситуация напоминает операцию непрерывного буферизированного сбора данных. Тогда вам нужно было быть уверенным, что вы считываете данные из буфера достаточно быстро, прежде чем они будут переписаны новой порцией данных.

Упражнение 7-5. Непрерывная буферизированная генерация сигнала.

Задача: Создать ВП для непрерывной генерации осциллограммы.

Примечание. Это упражнение предусматривает использование звуковых колонок (динамиков) со встроенным усилителем. Если в ваше системе их нет, то перейдите к выполнению упражнения 7-6.

В данном упражнении вы создадите ВП, который будет непрерывно проигрывать WAV файл при помощи DAQ устройства.

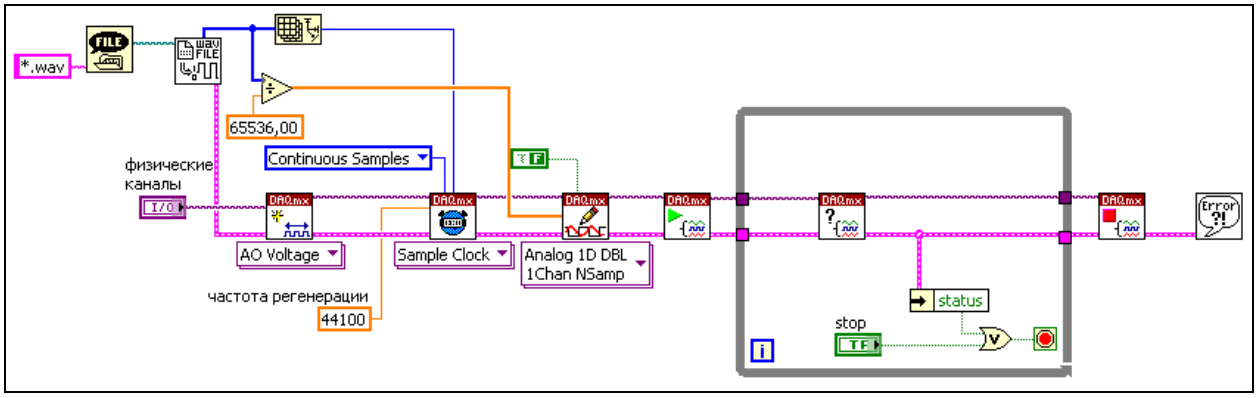
1. Присоедините один провод от колонок к аналоговому выводу 0 на испытательной коробке. Другой провод от колонок присоедините к контакту GND также на испытательной коробке. О полярности подключения можно не заботиться.

2. Откройте ВП Tone Generation (7-3), который вы создали в упражнении 7-3.

3. Сохраните ВП под именем `Continuous Tone Generation (7-5).vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

Блок-диаграмма

4. Измените блок-диаграмму, как показано на следующей иллюстрации.



a. Поместите ВП DAQmx Is Task Done, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition»DAQmx Advanced Task Options** на блок-диаграмму. Этот ВП запрашивает текущий статус задачи и возвращает логическое значение о завершении ее выполнения. Поместите этот ВП в тело цикла по условию для слежения за состоянием задачи и ожидания возникновения ошибки или момента, когда пользователь нажмет кнопку **STOP**.

5. На лицевой панели установите для элемента управления **физические каналы** значение `Dev X/ao0`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства.

6. Установите ручку громкости динамиков в среднее положение.

7. Запустите ВП. Возникнет диалоговое окно, запрашивающее WAV файл. Выберите

NISoundFile.wav, расположенный в директории C:\Exercises\LabVIEW DAQ.

8. Вы должны услышать WAV файл из динамиков. Нажмите кнопку **STOP** для остановки выполнения ВП.

9. Закройте ВП.

Конец упражнения 7-5

Упражнение 7-6 (Необязательное). Непрерывная буферизированная генерация сигнала.

Задача: Создать ВП для непрерывной генерации осциллограммы, имитирующей сирену.

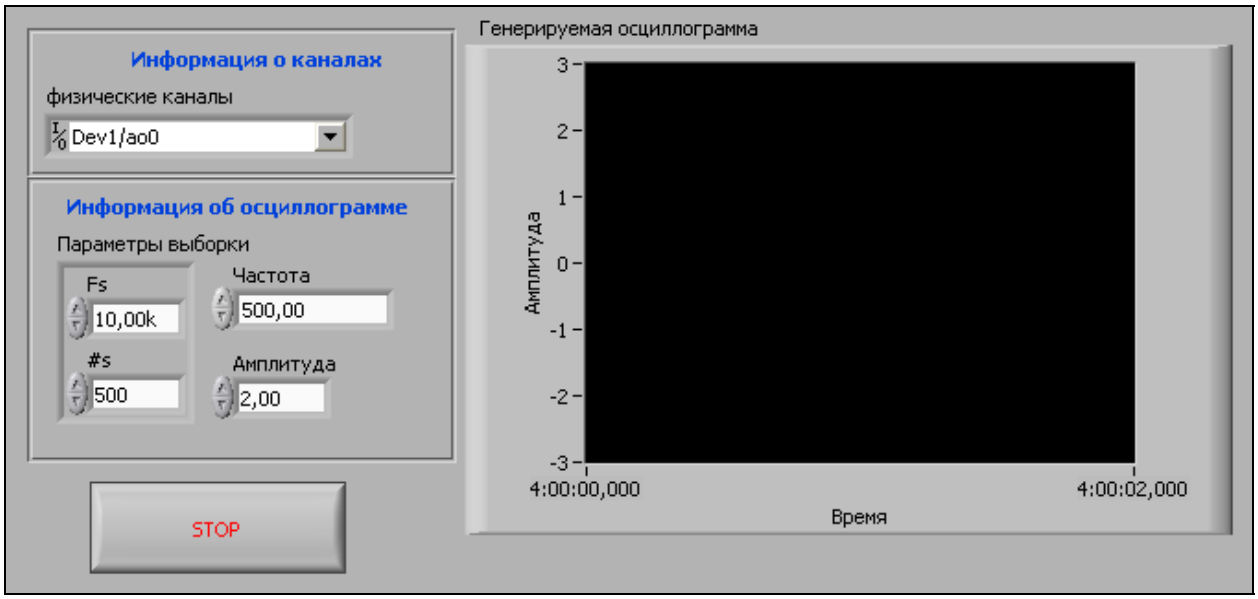
Примечание. Замените упражнение 7-5 данным упражнением для систем, не имеющих звуковых колонок со встроенным усилителем.

Для создания сирены необходимо непрерывно генерировать два синусоидальных сигнала различных частот, чередуя их между собой.

1. На испытательной коробке присоедините аналоговый вывод 0 к аналоговому вводу 1.

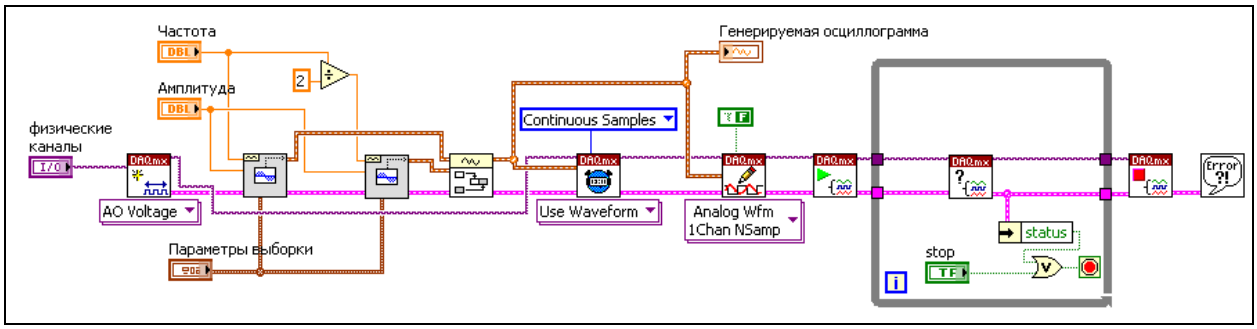
Лицевая панель

2. Откройте ВП Tone Generation (7-4), который вы создали в упражнении 7-4. Измените лицевую панель, как показано на следующей иллюстрации.



Блок-диаграмма

3. Измените блок-диаграмму, как показано на следующей иллюстрации.



a. Поместите ВП DAQmx Create Virtual Channel, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition** на блок-диаграмму. Этот ВП создает виртуальный канал для заданного физического канала. Выберите из выпадающего меню конфигуратора этого ВП опции **Analog Output»Voltage**. Щелкните правой кнопкой мыши на вводе **physical channels** и выберите **Create»Control** из появившегося контекстного меню.

b. Поместите ВП Sine Waveform, расположенный в палитре **Functions»All Functions»Waveform»Waveform Generation**, на блок-диаграмму. Этот ВП генерирует синусоидальный сигнал. Необходимо использовать два таких ВП. Крайний левый ВП Sine Waveform генерирует синусоидальный сигнал с частотой `Frequency`. Второй ВП Sine Waveform генерирует сигнал с частотой 1/2 `Frequency`. Затем один из этих сигналов добавляется в конец другого и, таким образом, получается осциллограмма удвоенной длины. ВП DAQmx Write записывает эту объединенную осциллограмму в буфер.

c. Поместите функцию деления, расположенную в палитре **Functions»Arithmetic & Comparison»Express Numeric**, на блок-диаграмму. Щелкните правой кнопкой мыши на вводе **y** этой функции и выберите **Create»Constant** из контекстного меню.

d. Поместите ВП Append Waveforms, расположенный в палитре **Functions»All Functions»Waveform»Waveform Operations** на блок-диаграмму. Присоедините осциллограмму B в конец осциллограммы A. Если частоты выборок этих осциллограмм не будут совпадать, то функция возвратит ошибку через кластер ошибок.

e. Поместите ВП DAQmx Timing, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition** на блок-диаграмму. Этот ВП настраивает тактирование задачи.

f. Поместите ВП DAQmx Write, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition** на блок-диаграмму. Этот ВП записывает данные в буфер для выполнения операции буферизированного аналогового вывода сигнала конечной длительности. Из выпадающего меню конфигуратора последовательно выберите следующие опции **Analog»Single Channel»Multiple Samples»Waveform**.

g. Поместите ВП DAQmx Start Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition** на блок-диаграмму. Этот ВП запускает буферизированную генерацию аналогового сигнала.

h. Поместите ВП DAQmx Is Task Done, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition»DAQmx Advanced Task Options** на блок-диаграмму. Этот ВП запрашивает текущий статус задачи и возвращает логическое значение о завершении ее выполнения. Используйте этот ВП внутри цикла по условию для слежения за состоянием задачи и ожидания возникновения ошибки или момента, когда пользователь нажмет кнопку **STOP**.

i. Поместите ВП DAQmx Stop Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition** на блок-диаграмму. Этот ВП останавливает задачу аналогового вывода.

j. Поместите ВП Simple Error Handler, расположенный в палитре **Functions»All Functions» Time & Dialog** на блок-диаграмму. В случае возникновения ошибки этот ВП вызовет диалоговое окно с информацией об ошибке и месте ее возникновения.

4. Сохраните ВП с именем `Siren.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

5. Откройте ВП Continuous Acquire with MIO, расположенный в директории C:\Exercises\LabVIEW DAQ, для наблюдения осциллограммы, сгенерированной ВП Siren.

6. Установите следующие значения для элементов управления на лицевой панели ВП Continuous Acquire with MIO:

- **Физический канал**: Dev X/ai1, где X ссоответствует номеру вашего DAQ устройства
- **#выборок на канал**: 10000
- **Частота выборки**: 10000

7. Запустите ВП Continuous Acquire with MIO.

8. На лицевой панели ВП Siren установите следующие значения для элементов управления:

- **Физический канал**: Dev X/ao0, где X соответствует номеру вашего DAQ устройства
- **Амплитуда**: 1
- **Частота**: 1000
- **Параметры выборки**

  – **Fs**: 10000

  – **#s**: 500

  #s Задает число выборок осциллограммы, которую генерирует ВП Sine Waveform. Этот параметр равен половине буфера **Buffer Size**, поскольку конечная осциллограмма состоит из двух частей. Если вы зададите **#s**, равное 1000, каждый из ВП Sine Waveform создаст по 1000 точек, и вы никогда не увидите осциллограммы, сгенерированной вторым ВП Sine Waveform.

9. Запустите ВП.

Если вы присоединили аналоговый вывод 0 к динамику компьютера, вы должны услышать два перемежающихся сигнала наподобие сирены.

10. Закройте все ВП.

Конец упражнения 7-6

Упражнение 7-7. Непрерывная генерация тонального сигнала с использованием триггера

Задача: Создать ВП для триггерного запуска операции аналогового вывода.

В данном упражнении вы модифицируете ВП аналогового вывода из упражнения 7-5 для запуска генерации осциллограммы, используя цифровой триггер на испытательной коробке.

Примечание. Это упражнение предусматривает использование звуковых колонок (динамиков) со встроенным усилителем. Если в ваше системе их нет, то перейдите к выполнению упражнения 7-8.

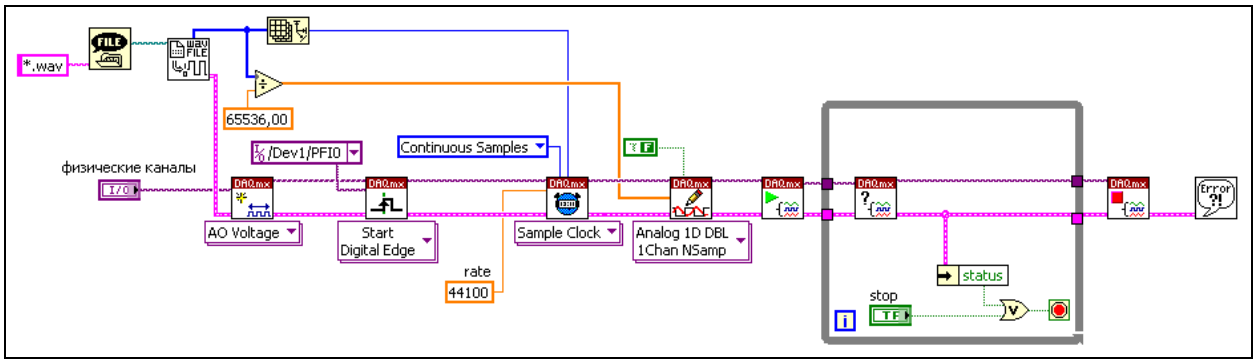
1. Присоедините один провод от колонок к аналоговому выводу 0 на испытательной коробке. Другой провод от колонок присоедините к контакту GND также на испытательной коробке. О полярности подключения можно не заботиться.

2. Откройте ВП Continuous Tone Generation (7-5), который вы создали в упражнении 7-5.

3. Выберите в меню **File** опцию **Save As** и сохраните ВП с именем `Triggered Continuous Tone Generation Option A.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

Блок-диаграмма

4. Измените блок-диаграмму, как показано на следующей иллюстрации.



a. Поместите ВП DAQmx Trigger, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП настраивает триггер для задачи аналогового вывода.

5. Сохраните ВП.

6. На лицевой панели установите для элемента управления **Физический канал** значение `Dev X/ao0`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства.

7. Установите ручку громкости динамиков в среднее положение.

8. Запустите ВП. Возникнет диалоговое окно, запрашивающее WAV файл. Выберите `NISoundFile.wav`, расположенный в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

9. Нажмите кнопку Digital Trigger на испытательной коробке. Помните, что при нажатии этой кнопки, генерируется сигнал со спадающим фронтом. При отпускании кнопки, наоборот, с нарастающим фронтом, который и запустит генерацию осциллограммы. После этого вы должны услышать WAV файл из динамиков.

10. Нажмите кнопку **STOP** для остановки ВП.

11. Закройте ВП.

Конец упражнения 7-7

Упражнение 7-8 (необязательное). Генерация с использованием цифрового триггера.

Задача: Создать ВП для генерации аналогового сигнала с использованием цифрового триггера.

Примечание. Замените упражнение 7-7 данным упражнением для систем, не имеющих звуковых колонок со встроенным усилителем.

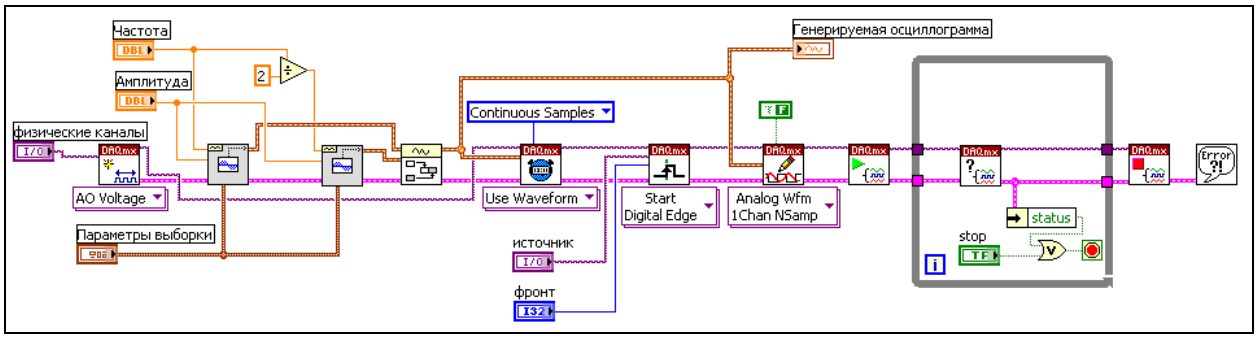
В данном упражнении вы создадите гипотетическую систему безопасности, включающую сигнализацию. Тот же триггер, управляющий камерами видеонаблюдения, будет включать и сирену. Для имитации этой кнопки используйте цифровой триггер на испытательной коробке.

Примечание. Кнопка Digital Trigger присоединена к контакту PFI0 (для устройств E-серии) или контакту EXTTRIG (для устройств Lab/1200) DAQ устройства. Помните, что кнопка цифрового триггера генерирует спадающий фронт сигнала при нажатии, и нарастающий при отпускании.

1. Присоедините аналоговый вывод 0 к аналоговому вводу 1 на испытательной коробке.

2. Откройте ВП Siren, созданный вами в упражнении 7-6, и сохраните его с именем `Triggered Siren.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

3. . Измените блок-диаграмму, как показано на следующей иллюстрации.



a. Поместите ВП DAQmx Trigger, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП настраивает триггер для задачи аналогового вывода.

4. Сохраните ВП.

5. Откройте ВП Continuous Acquire with MIO, расположенный в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`, для наблюдения сгенерированной осциллограммы.

6. Установите следующие значения для элементов управления на лицевой панели ВП Continuous Acquire with MIO:

- **Физический канал**: `Dev X/ai1`, где `X` ссоответствует номеру вашего DAQ устройства

- **#выборок на канал**: `10000`
- **Частота выборки**: `10000`

7. Запустите ВП Continuous Acquire with MIO.

8. На лицевой панели ВП Triggered Siren установите следующие значения для элементов управления:

- **Физический канал**: `Dev X/ao0`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства
- **Амплитуда**: `1`
- **Частота**: `1000`
- **Параметры выборки**
  - **Fs**: `10000`
  - **#s**: `500`
- **Источник (триггер)**: `/Dev X/PFI0`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства
- **Фронт**: `Rising`

9. Запустите ВП Triggered Siren. В начале графический индикатор ВП Continuous Acquire with MIO не будет ничего отображать, поскольку ВП Triggered Siren ждет триггерного события.

10. Нажмите кнопку Digital Trigger на испытательной коробке. Помните, что она генерирует спадающий фронт. При отпускании кнопки сгенерируется нарастающий фронт, который вызовет срабатывание сигнализации.

Конец упражнения 7-8

Итоги

- Обычное устройство сбора данных имеет ЦАП для каждого из каналов аналогового вывода.

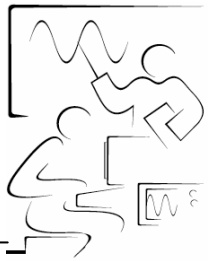
- Виртуальные приборы DAQmx позволяют осуществлять поточечную, буферизированную или непрерывную генерацию сигнала, с цифровым или аналоговым запуском.

- Частота выходной осциллограммы зависит от скорости регенерации (update rate) и числа циклов осциллограммы, находящихся в буфере.

- Для генерации осциллограммы с использованием временных параметров этой осциллограммы, используйте настройку Use Waveform для конфигуратора ВП DAQmx Timing.

Примечания

Занятие 8
Ввод/вывод дискретных сигналов



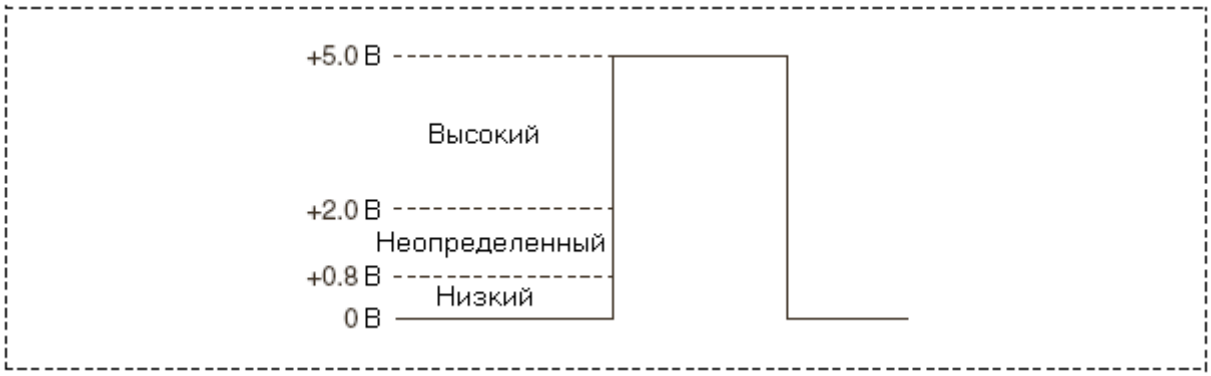
На этом занятии описываются функциональные возможности устройства сбора данных, который может выполнять операции цифрового ввода/вывода.

Задачи:

A. Составляющие (цифрового) сигнала
B. Терминология дискретного ввода/вывода
C. Виртуальные приборы для дискретного ввода/вывода
D. Цифровые триггеры

A. Дискретные (цифровые) сигналы

Цифровые линии DAQ устройства принимают и генерируют ТТЛ совместимые сигналы. ТТЛ сигнал имеет два состояния – высокий и низкий логические уровни, как показано на следующем рисунке. Низкий логический уровень соответствует сигналам с напряжением от 0 до +0.8 вольт. Сигналы с высоким логическим уровнем должны иметь напряжение от +2 до +5 вольт. Сигналы в диапазоне от +0.8 до +2.0 вольт являются неопределенными.



Чтобы быть уверенным, что цифровые линии правильно измеряют сигнал, убедитесь, что уровень напряжения сигнала никогда не попадает в диапазон от +0.8 до +2.0 вольт.

Терминология цифрового ввода/вывода

Ниже следуют несколько часто употребляемых терминов при описании операций цифрового ввода/вывода.

- **Бит** (**Bit)** — Наименьшая единица данных, используемая при дискретных операциях. Биты – двоичные единицы, то есть они могут принимать значения 1 либо 0.

- **Линия** (**Line)** — Отдельный сигнал в цифровом порте. Различие между битом и линией состоит в том, что бит связывают с передачей реальных данных, а когда говорят про линию, то подразумевают устройство, по которому передается бит. Однако термины линия и бит в некоторой степени взаимозаменяемы. Например, 8-битный порт это то же, что порт, состоящий из восьми линий.

- **Порт** (**Port)** — Набор цифровых линий. Обычно линии сгруппированы в 4-битный либо 8-битный порт. Старые DAQ устройства имеют два 4-битных порта, а большинство устройств E-серии имеют один 8-битный порт. Виртуальные приборы LabVIEW часто называют порт цифровым каналом.

- **Разрядность порта** (**Port Width)** — Число линий в порту. Например, устройства E-серии имеют один порт с восемью цифровыми линиями. Поэтому разрядность порта равна восьми.

- **Маска** (**Шаблон**) (**Mask) –** Определяет, какие из цифровых линий игнорируются. Например, если вы записываете в порт, но не хотите записывать во все линии, то можете установить маску для пропуска соответствующих линий.

Система обозначений NI-DAQmx при операциях цифрового ввода/вывода

При работе с NI-DAQmx используйте следующие соглашения в описании цифровых линий и портов. В каждом случае `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства, `Y` соответствует цифровому порту, `A` и `B` соответствуют цифровым линиям вашего DAQ устройства.

- **Порт** — `Dev X/Port Y`
- **Одна линия** — `Dev X/Port Y/LineA`
- **Несколько линий** — `Dev X/Port Y/LineA:B`. Линии считываются (либо в них записывают) в возрастающем порядке, начиная с Линии A и продолжая до Линии B. Для явного управления порядком считывания (или записи) из линий используйте обозначение `Dev X/Port Y/LineA, Dev X/Port Y/LineB`. Каждую линию отделяет запятая.

B. Дискретный Ввод/Вывод

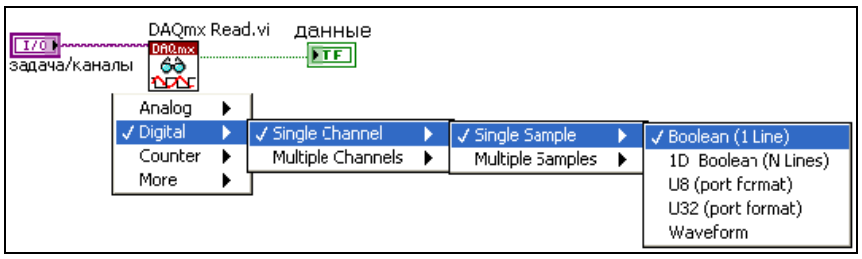
Для выполнения операций дискретного ввода/вывода в NI-DAQmx выберите опцию digital в конфигураторах ВП DAQmx Read или DAQmx Write. Кроме этих виртуальных приборов для настройки задач цифрового ввода/вывода используйте ВП DAQmx Timing и DAQmx Triggering. Для программного создания цифрового канала используйте ВП DAQmx Create Virtual Channel.

ВП DAQmx Create Virtual Channel

Чтобы программно создать канал цифрового ввода или вывода, выберите опцию Digital Input или Digital Output конфигуратора ВП DAQmx Create Virtual Channel. Эти настройки ВП позволяют создать канал, состоящий из цифрового порта, линии или набора цифровых линий. Кроме этого используйте ввод **line grouping**, чтобы задать, каким образом цифровые линии организованы в канале. Вы можете создать по одному каналу для каждой линии либо один канал для всех линий.

ВП DAQmx Read

ВП DAQmx Read считывает выборки из определенной задачи либо канала. Опции конфигуратора этого полиморфного ВП задают формат считываемых выборок, количество выборок, считываемых за раз, - одна или несколько, а также считывать ли из одного или нескольких каналов. Для осуществления цифрового ввода выберите опцию digital из выпадающего меню конфигуратора.



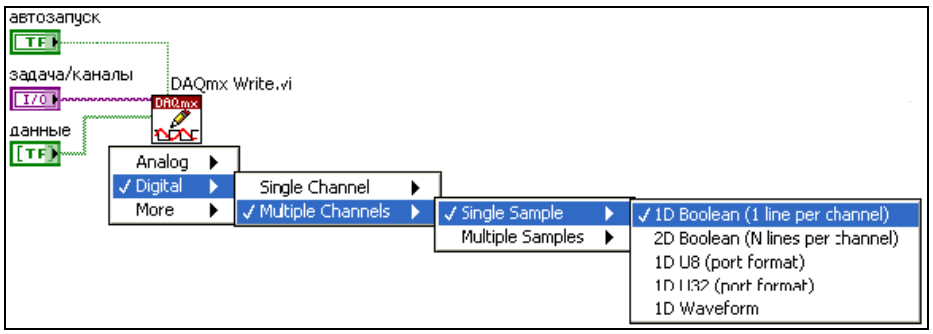
Затем выберите считывание из одного (single channel) или нескольких каналов (multiple channels). Если ввод **line grouping** имеет значение one channel for all lines (один канал для всех линий), то считывание в режиме single channel возвратит значения для каждой из линий в канале. Если же ввод **line grouping** находится в состоянии one channel for each line (по одному каналу для каждой линии), то для считывания значений из каждой заданной линии необходимо использовать режим multiple channels.

Выберите считывание одной либо нескольких выборок за раз. Опции типа данных для возвращаемого значения(-ий) позволяют выбрать, возвращать ли значение в формате линии или порта. Формат линии состоит из отдельного логического значения (Boolean) либо массива логических значений (для нескольких линий) (1D Boolean). В формате порта существуют опции для возврата значений в виде целых беззнаковых 8-битных чисел (U8) либо целых беззнаковых 32-битных чисел (U32). При считывании из нескольких каналов опции типов данных те же, только к каждому типу добавляется размерность массива, указывающая , что происходит считывание из нескольких каналов.

В случае если вы выбрали формат порта U8 или U32, используйте функцию Number to Boolean Array, расположенную в палитре **Numeric»Conversion**, для преобразования числа в массив логических значений.

ВП DAQmx Write

ВП DAQmx Write записывает выборки в определенную задачу либо канал. Опции конфигуратора этого полиморфного ВП задают формат записываемых выборок, количество выборок, записываемых за раз (одну или несколько), а также записывать ли в один или нескольких каналов. Для осуществления генерации цифрового сигнала выберите опцию digital из выпадающего меню конфигуратора ВП DAQmx Write.



Настройки опций конфигуратора при генерации дискретного сигнала осуществляются подобным же образом, что и настройки опций конфигуратора ВП DAQmx Read для цифрового ввода.

По умолчанию ввод **auto start** ВП DAQmx Write находится в состоянии Истина при записи одиночных выборок и в состоянии Ложь при записи нескольких выборок. Если вы используете ВП DAQmx Start Task и DAQmx Stop Task, то всегда устанавливайте ввод **auto start** в состояние Ложь. Это позволит лучше контролировать модель состояния задачи и увеличит скорость выполнения программы.

ВП DAQmx Timing

Опция квитирования (handshaking) конфигуратора ВП DAQmx Timing определяет количество выборок дискретного сигнала для сбора/генерации с использованием цифрового подтверждения связи (квитирования) между устройством сбора данных и внешним устройством. Вместо задания частоты дискретизации, необходимо задать число выборок дискретного сигнала для сбора/генерации с использованием квитирования.

Примечание. Не все устройства поддерживают цифровое квитирование. Посмотрите документацию к вашему устройству для проверки, поддерживает ли оно этот режим. Среди устройств E-серии с более чем восемью цифровыми линиями квитирование поддерживают только те платы, которые имеют в своем составе дополнительный чип 8255.

ВП DAQmx Trigger

ВП DAQmx Trigger используется для настройки триггеров задачи цифрового ввода/вывода. Опции конфигуратора этого полиморфного ВП позволяют настроить триггер и его тип. Настройка триггеров для дискретного ввода/вывода осуществляется так же, как и настройка триггеров для операций аналогового ввода/вывода. Большую информацию о настройке триггеров можно найти в этом пособии в главе 4, *Аналоговый ввод*.

Упражнение 8-1. ВП цифровой записи

Задача: Создать цифровой виртуальный канал в LabVIEW с помощью Помощника по сбору данных и построить ВП, записывающий значение в цифровую линию на испытательной коробке.

Лицевая панель

1. Откройте новый ВП и поместите элемент управления DAQmx Task на лицевую панель.

2. Щелкните правой кнопкой мыши на элементе управления DAQmx Task и выберите **New Task (DAQ Assistant)** из контекстного меню.

3. Выберите следующие настройки задачи:

- **Measurement Type**: `Digital I/O`
- **Digital I/O Type**: `Port Output`
- **Name**: `Digital Output`

4. В помощнике по сбору данных нажмите кнопку **Test**. Должны загореться светодиоды четырех цифровых линий на испытательной коробке. Линии установлены в нижнее логическое состояние – двоичная величина 0 соответствует напряжению +5 вольт в цифровой линии. Попробуйте различные двоичные значения, нажимая кнопкой мыши на переключатель под цифровой линией.

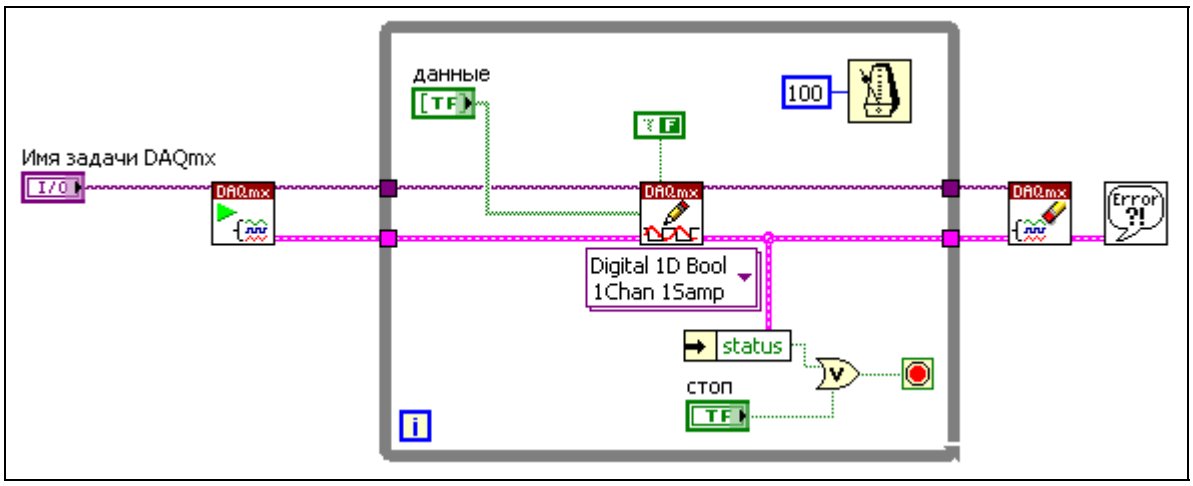
5. Нажмите кнопку **OK**. На вкладке **Settings** выберите **Invert Line**.

6. Снова нажмите кнопку **Test**. Запишите различные значения в цифровые линии и обратите внимание, что теперь линии работают в режиме прямой логики – двоичный ноль соответствует напряжению 0 вольт в цифровой линии.

7. Нажмите кнопку **OK** для выхода из панели тестирования. Вы можете оставить цифровые линии инвертированными, если предпочитаете верхнее логическое состояние нижнему.

Блок-диаграмма

8. Постройте блок-диаграмму как показано на следующем рисунке.



a. Поместите ВП DAQmx Start Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП запускает задачу.

b. Поместите ВП DAQmx Write, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Выберите следующие опции из выпадающего меню конфигуратора: **Digital»Multiple Channels»Single Sample»1D Boolean**. С этой настройкой ВП записывает единственное значение в каждую из цифровых линий, включенных в задачу.

Щелкните правой кнопкой мыши на вводе **data** и выберите **Create»Control** из контекстного меню.

c. Поместите ВП DAQmx Clear Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП освобождает все ресурсы, зарезервированные для задачи.

d. Поместите ВП Simple Error Handler, расположенный в палитре **Functions»All Functions»Time & Dialog**, на блок-диаграмму. В случае возникновения ошибки этот ВП вызовет диалоговое окно с информацией, касающейся ошибки и месте ее возникновения.

e. Поместите функцию Unbundle By Name, расположенную в палитре **Functions» All Functions»Cluster**, на блок-диаграмму.

f. Поместите функцию Or, расположенную в палитре **Functions»Arithmetic &**
Comparison»Express Boolean, на блок-диаграмму.

9. Сохраните ВП с именем `Digital Writer.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.
10. Переключитесь на лицевую панель. Перед запуском ВП вы должны инициализировать массив данных. Измените размер массива для отображения восьми логических элементов управления. Серый цвет элементов свидетельствует о том, что они не инициализированы. Для задания логических значений щелкните на них кнопкой мыши.
11. Запустите ВП. Измените логические значения в массиве данных и наблюдайте за поведением цифровых линий на испытательной коробке.
12. Нажмите кнопку **STOP** для остановки ВП.
13. Сохраните и закройте ВП.

Конец упражнения 8-1

Упражнение 8-2. ВП для считывания дискретных сигналов

Задача: Создать ВП для считывания значения из цифровой линии на испытательной коробке.

В данном упражнении вы будет считывать значение из цифровой линии и порта, используя ВП DAQmx Read.

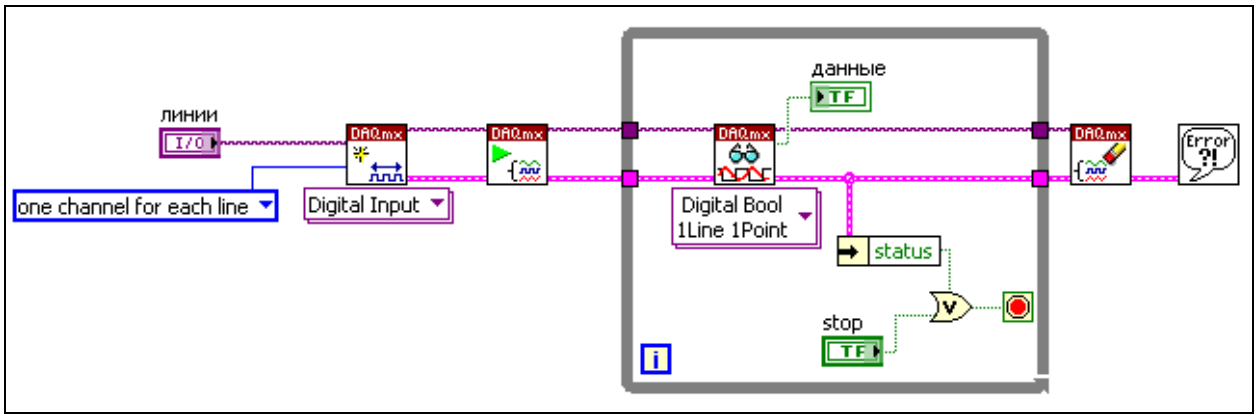
Лицевая панель

1. Откройте новый ВП и создайте следующую лицевую панель.

Все элементы управления, включая и DAQmx Physical Channel, могут быть созданы с блок-диаграммы нажатием правой кнопкой мыши на подходящем терминале и выбором опции **Create»Control** из контекстного меню.

Блок-диаграмма

2. Постройте следующую блок-диаграмму.



a. Поместите ВП DAQmx Create Virtual Channel, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП создает новый виртуальный канал цифрового ввода. Выберите опцию **Digital Input** из выпадающего меню конфигуратора. Щелкните правой кнопкой мыши на вводе **line grouping** и выберите **Create»Constant** из появившегося контекстного меню.

b. Поместите ВП DAQmx Start Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП запускает задачу считывания цифрового сигнала.

c. Поместите ВП DAQmx Read, расположенный в палитре **Functions»All**

Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition, на блок-диаграмму. Выберите опции **Digital»Single Channel»Single Sample»Boolean** из выпадающего меню конфигуратора этого ВП. Щелкните правой кнопкой мыши на выходе **data** и выберите **Create»Indicator** из контекстного меню.

d. Поместите ВП DAQmx Clear Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП освобождает все ресурсы, зарезервированные для задачи.

e. Поместите ВП Simple Error Handler, расположенный в палитре **Functions»All Functions»Time & Dialog**, на блок-диаграмму. В случае возникновения ошибки этот ВП вызовет диалоговое окно с информацией, касающейся ошибки и месте ее возникновения.

f. Поместите функцию Unbundle By Name, расположенную в палитре **Functions» All Functions»Cluster**, на блок-диаграмму.

g. Поместите функцию Or, расположенную в палитре **Functions»Arithmetic & Comparison»Express Boolean**, на блок-диаграмму.

3. Сохраните ВП с именем `Digital Reader.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

4. На лицевой панели выберите цифровую линию `Dev X/port0/line6`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства.

5. Запустите ВП.

6. Поверните ручку импульсного датчика положения (quadrature encoder) на испытательной коробке. Шестая цифровая линия нулевого порта присоединена к каналу B датчика. При повороте ручки светодиод соответствующей линии должен быстро мигнуть.

7. Измените ВП, чтобы он мог считывать содержимое всего порта 0.

Подсказка. Измените номера физических линий, из которых происходит считывание, на диапазон с 0 по 7, и измените настройку конфигуратора ВП DAQmx Read.

8. Запустите ВП и поверните ручку генератора импульсов. Какой элемент массива логических значений должен измениться?

9. Сохраните и закройте ВП.

Конец упражнения 8-2

Итоги

- Цифровые линии обычного DAQ устройства E-серии могут:

  – Считывать и записывать ТТЛ совместимые сигналы.

  – Выполнять только не тактируемые операции цифрового ввода/вывода.

  – Быть настроены индивидуально на операции ввода или вывода.

- Типичные DAQ устройства E-серии имеют цифровые линии, которые могут считывать и записывать ТТЛ совместимые сигналы.

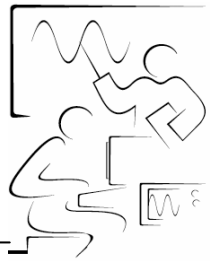
- Технические требования для ТТЛ сигнала определяют его напряжение от 0 до +0.8 вольт как низкий логический уровень (logic low), а от +2 до +5 вольт как высокий логический уровень (logic high). Напряжение в диапазоне от +0.8 до +2 вольт может быть интерпретировано и тем и другим способом.

- Для выполнения операций с подтверждением связи (квитированием) или другой формой тактируемого дискретного ввода/вывода, вам необходимо приобрести специальное DAQ устройство, такое как DIO-6533.

- Для быстрой настройки операций дискретного ввода или вывода используйте виртуальные приборы DAQmx Read и DAQmx Write.

Примечания

Занятие 9
Счетчики



На данном занятии изучаются функциональные возможности DAQ устройства для работы со счетными сигналами. Оно начинается с обзора счетчиков, включая счетные сигналы, составные части счетчиков, контакты, на которые подаются счетные сигналы, основную терминологию и различные типы микросхем счетчиков. На занятии также описываются DAQmx ВП, используемые для операций со счетчиками.

Задачи:

A. Обзор счетчиков
B. Подсчет фронтов
C. Генерация импульсов
D. Измерение параметров импульсов
E. Измерение частоты
F. Измерение положения

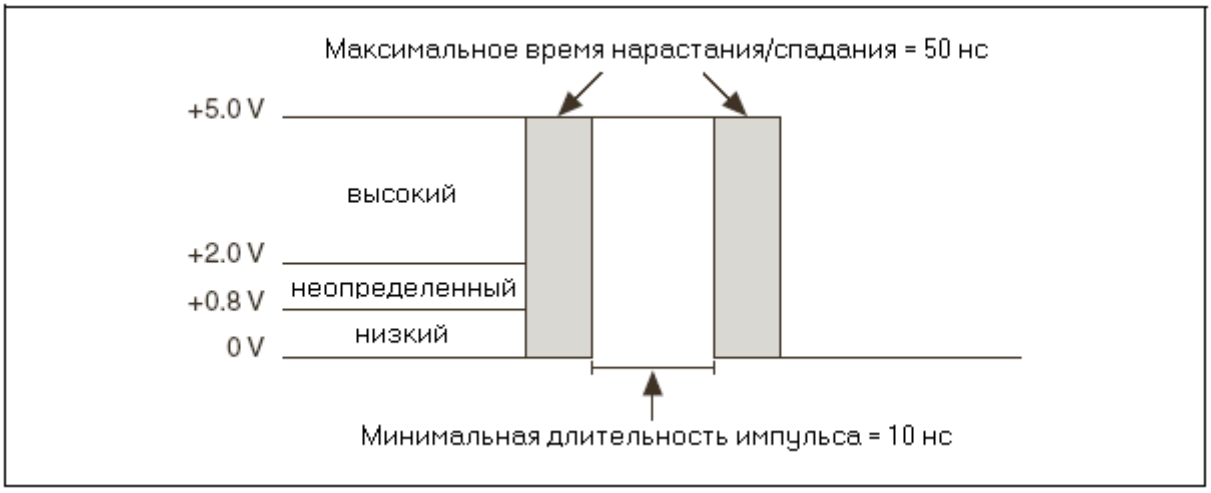
A. Счетные сигналы

Счетчики работают с ТТЛ совместимыми сигналами. ТТЛ совместимый сигнал имеет следующие технические характеристики:

0 В – 0.8 В = низкий логический уровень (logic low)

2 В – 5 В = высокий логический уровень (logic high)

Максимальное время нарастания/спадания = 50 нс



Цифровые устройства ввода/вывода могут устанавливать либо отслеживать состояние в цифровой линии. В отличие от них счетчики имеют отношение не только к состоянию сигнала, но и переходу из одного состояния в другое. Счетчик может детектировать нарастающие фронты (переход из состояния с низким логическим уровнем в состояние с высоким логическим уровнем) и спадающие фронты (переход из состояния с высоким логическим уровнем в состояние с низким логическим уровнем). Существует два важных параметра, относящихся к детектированию нарастающих и спадающих фронтов, а именно, время нарастания/спада и минимальная длительность импульса. Время нарастания/спада характеризует, насколько быстро сигнал переходит из одного состояния в другое. Для того, чтобы счетчик зафиксировал фронт, переход должен осуществляться не более, чем за 50 нс в соответствии с характеристиками ТТЛ совместимого сигнала.

Кроме этого временного ограничения существует некоторая минимальная задержка времени, спустя которую счетчик снова сможет зафиксировать фронт после детектирования нарастающего или спадающего фронта сигнала. Эту задержку называют минимальной длительностью импульса. Минимальная длительность зависит от используемой микросхемы счетчика. Устройства E-серии содержат микросхему DAQ-STC, которая обеспечивает минимальную длительность импульса в 10 нс и для исследуемого сигнала и для сигнала разрешения. Для определения минимальной длительности импульса, требуемой счетчиком какого-либо DAQ устройства, посмотрите документацию к этому устройству.

Существует пять различных типов операций с использованием счетчика – подсчет фронтов, генерация импульсов, измерение параметров импульса, измерение частоты и измерение положения.

Компоненты счетчика

Счетчик имеет следующие основные компоненты:

- **Регистр отсчетов (Count Register)** – Сохраняет текущий отсчет счетчика. Этот регистр можно опрашивать программно.

- **Информационный вход (Source)** – Сигнал на этом входе может изменить текущий отсчет, запомненный в регистре. Счетчик ждет нарастающих или спадающих фронтов именно на этом входе. Выбор типа фронта, вызывающего изменение отсчета, осуществляется программно. Тип выбранного фронта называется активным фронтом сигнала. Когда на информационном входе принимается активный фронт, отсчет изменяется. Будет ли активный фронт увеличивать или уменьшать текущий отсчет, также настраивается программно. Информационный сигнал должен быть ТТЛ совместимым.

- **Вход разрешения (Gate)** – Сигнал на этом входе определяет, будет ли активный фронт на информационном входе (Source) изменять отсчет. Подсчет может состояться, когда уровень напряжения на этом входе высокий, низкий или находится в промежутке между различными комбинациями нарастающих и спадающих фронтов. Настройки данного входа осуществляются программно. Сигнал разрешения напоминает маску в цифровой линии при операциях дискретного ввода/вывода, поскольку позволяет фиксировать либо игнорировать активные фронты на информационном входе.

- **Выход (Out) –** На нем генерируются импульсы или серия импульсов, или по-другому, последовательность импульсов. Выходной сигнала ТТЛ совместим.

Контакты счетчика

Для операций аналогового ввода, аналогового вывода и цифрового ввода/вывода выделены специальные контакты. Однако счетчики для своих операций используют комбинацию контактов PFI (Programmable Function Input – программируемые функциональные входы) и специально выделенных контактов. Выходные контакты счетчиков используются исключительно для генерации импульсов на выходе счетчика. Контакты информационного входа и входа разрешения являются PFI контактами. Кроме работы в качестве входов счетчика, они могут быть использованы и для других приложений. Например, третий контакт на 68-контактной соединительной коробке можно использовать в качестве PFI9 или в качестве входа разрешения счетчика 0, либо в качестве и того и другого. Возможность использования одного контакта для различных приложений обеспечивает большую гибкость в разработке. Например, вы можете присоединить внешний ТТЛ сигнал к контакту 3 и использовать его для запуска операции аналогового ввода и в качестве сигнала разрешения при работе со счетчиком.

Терминология, используемая при работе со счетчиками

Следующие термины важны для понимания при работе со счетчиками.

- **Максимальный отсчет (Terminal Count)** – Последний отсчет перед тем, как счетчик достигнет 0. Например, когда счетчик, увеличивающий отсчеты, достигнет своего максимального значения, то говорят, что он достиг конечного отсчета. Следующее

увеличение отсчета заставит счетчик откатиться назад и начать подсчёт с 0.

- **Разрешающая способность** (**Resolution)** – Максимальное количество отсчетов счетчика, выраженное в битах. Следующая формула позволяет вычислить максимальное значение счетчика, основываясь на его разрешающей способности:

  максимальное значение = $2^{\text{разрешающая способность}} - 1$

  Счетчики чаще всего имеют следующие разрешающие способности – 16, 24 или 32 бита.

- **Временная развертка** (**Timebase)** – Сигнал заданной частоты, генерируемый DAQ устройством. Временные развертки обычно имеют частоты в диапазоне от 100 Гц до 80 МГц. Внутри DAQ устройства есть линия, по которой развертку можно подать на информационный вход счетчика для использования сигнала известной частоты.

B. Микросхемы – счетчики импульсов

В зависимости от DAQ устройства вы можете использовать микросхемы счетчика DAQ-STC или NI-TIO.

DAQ-STC

Микросхема DAQ-STC – 24-битный счетчик, разработанный компанией National Instruments обладает большими функциональными возможностями. Она используется в устройствах E-серии. DAQ-STC может увеличивать или уменьшать отсчеты, изменять направление отсчета «на лету» под действием сигнала, сгенерированного аппаратно, и имеет временные развертки с частотами 100 кГц и 20 МГц.

Чип DAQ-STC чаще любых других микросхем счетчиков встречается в современных устройствах компании National Instruments. В течение оставшейся части данного занятия под термином счетчик мы будем понимать микросхему DAQ-STC.

NI-TIO

Чип NI-TIO – самая первая микросхема счетчика, которую использовала в своих устройствах компания National Instruments. NI-TIO – 32-битный счетчик, программно совместимый с DAQ-STC. NI-TIO может увеличивать или уменьшать отсчеты, поддерживает шифраторы и аппаратные триггеры, имеет цифровые фильтры для удаления импульсных помех; может на лету изменять частоту последовательности импульсов, и имеет временные развертки с частотами 100 кГц, 20 МГц и 80 МГц. Чип NI-TIO используется в семействе устройств 660*x*.

Примечание. В оставшейся части занятия основное внимание уделяется использованию DAQ-STC.

C. Операции со счётчиками

Как и при операциях аналогового и цифрового ввода/вывода для работы со счетчиками используется ВП DAQmx Read. Для операций со счетчиками выберите опцию counter в конфигураторе ВП DAQmx Read. Как вы увидите позже в упражнениях данного занятия, ВП DAQmx Write не используется в работе со счетчиками. Для настройки операций измерения или генерации также используются виртуальные приборы DAQmx Create Virtual Channel, DAQmx Timing и DAQmx Triggering.

ВП DAQmx Create Virtual Channel

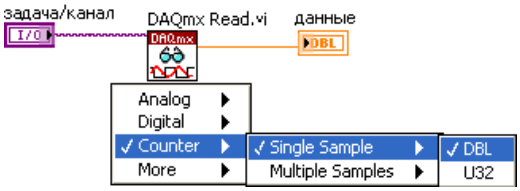
Для программного создания входного или выходного канала счетчика выберите опцию Counter Input или Counter Output конфигуратора ВП DAQmx Create Virtual Channel.

Настройка входного канала счетчика (Counter Input) позволяет измерять частоту, период, подсчитывать фронты, длительность импульса и полупериод.

Настройка выходного канала счетчика (Counter Output) позволяет генерировать импульсы с параметрами, выраженными через частотные (frequency), временные (time) и импульсные (ticks) характеристики сигнала.

ВП DAQmx Read

При работе со счетчиком для считывания выборки или выборок из задачи выберите опцию counter из выпадающего меню конфигуратора ВП DAQmx Read. При использовании счетчиков допускается считывание только из одного канала за раз, поэтому меню выбора одного или нескольких каналов теперь недоступно.



Выберите считывание за раз одной (single sample) или нескольких (multiple samples) выборок. При считывании одиночной выборки выберите формат возвращаемых данных: числа удвоенной точности с плавающей запятой (floating-point) либо целые беззнаковые 32-битные числа (U32). При выборе опции multiple samples возвратится 1D массив чисел удвоенной точности с плавающей запятой или 1D массив целых беззнаковых 32-битных чисел.

ВП DAQmx Timing

Для операций со счетчиком выберите опции Sample Clock или Implicit конфигуратора ВП DAQmx Timing. Выбор опции Sample Clock позволяет настроить действительную частоту тактирования. Настройка Implicit устанавливает только количество выборок для получения или генерации без задания тактирования. Опцию Implicit конфигуратора ВП DAQmx Timing вы будете использовать позже на этом занятии для генерации последовательностей импульсов.

ВП DAQmx Trigger

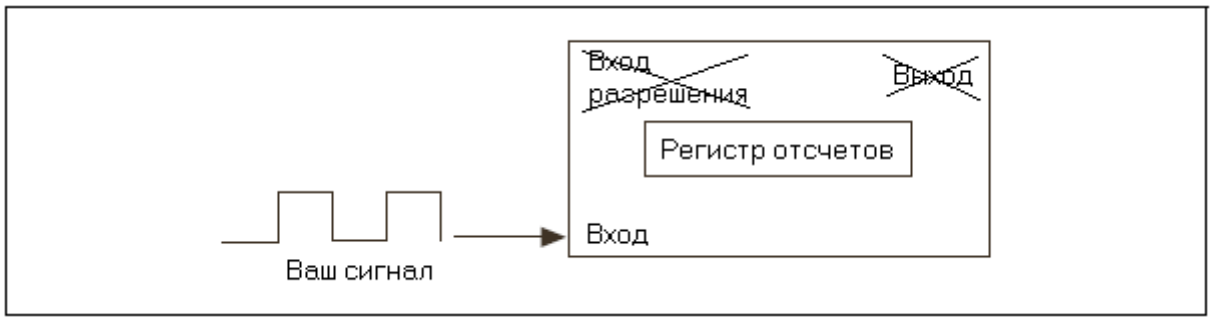
Для настройки триггеров задачи используйте ВП DAQmx Trigger. Конфигуратор этого полиморфного ВП позволяет настроить триггер и его тип. Настройка триггеров счетчика осуществляется подобным же образом, что и настройка триггеров для операций аналогового ввода и вывода. Кроме этого вы можете использовать узел свойств триггера DAQmx Trigger Property Node для настройки триггера паузы. Большую информацию о настройке триггеров можно найти в данном пособии на занятии 4, *Аналоговый ввод*.

D. Подсчет фронтов импульсов

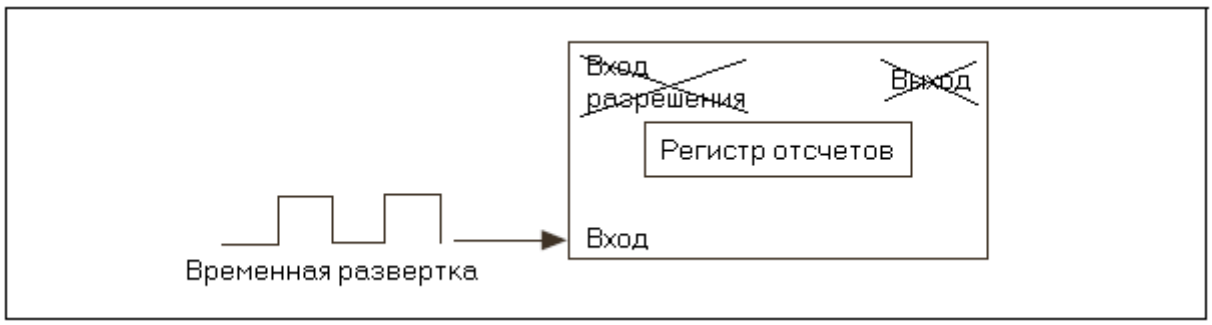
Подсчет фронтов импульсов является наиболее часто используемой операцией счетчика. В этом режиме основное внимание уделяется измерению сигнала на информационном входе. В данном параграфе описывается простейший подсчет фронтов и измерение времени.

Простейший подсчет фронтов

Операция простейшего подсчета фронтов базируется на основном определении счетчика. Активные фронты сигнала на информационном входе увеличивают значение регистра отсчетов. Активным фронтом можно программно назначать нарастающий или спадающий фронты. Вход разрешения и выход счетчика в данном режиме не используются.



Измерение времени – это одна из разновидностей простейшего подсчета фронтов. При выполнении простейшего подсчета фронтов параметры источника сигнала, как правило, не известны. Для измерения параметров как раз и используется счетчик. При измерении времени источником является временная развертка известной частоты. Знание частоты временной развертки можно использовать для измерения прошедшего времени. В этом режиме на информационный вход (Source) счетчика вместо измеряемого сигнала подается временная развертка.



Следующая формула позволяет вычислить прошедшее время:

Прошедшее время = (значение регистра отсчетов) × (период временной развертки)

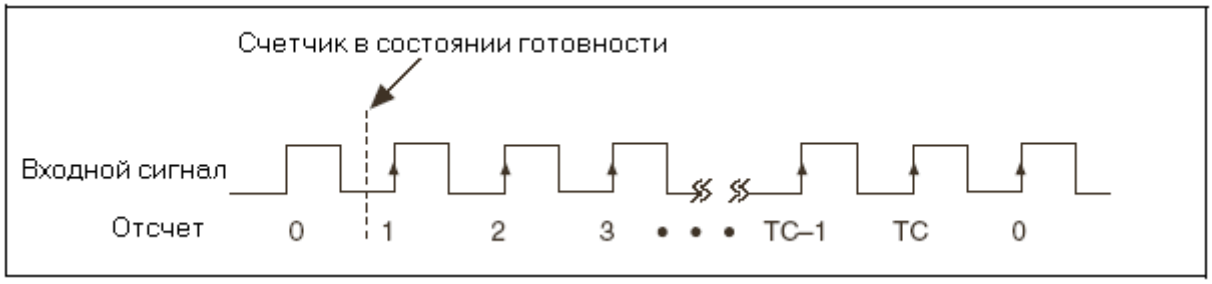
где период временной развертки = 1/частота временной развертки

Единственное отличие между измерением времени и простейшим подсчетом фронтов заключается в сигнале, подаваемом на информационный вход счетчика.

Измерение времени

Если счетчик настроен для простейшего подсчета фронтов или измерения времени, то значение отсчетов возрастает, когда на вход поступает активный фронт. Для задания типа активного фронта – нарастающего или спадающего – вы можете использовать LabVIEW.

В следующем примере в качестве активного фронта выбран нарастающий фронт. Значение отсчетов увеличивается каждый раз, когда поступает нарастающий фронт.



Обратите внимание, что отсчет не увеличится до тех пор, пока счетчик не будет в состоянии готовности. Счетчик имеет фиксированное число, до которого он может производить отсчет и которое определяется его разрешающей способностью. Например, 24-битный счетчик может считать до:

$2^{\text{разрешающая способность}} - 1 = 2^{24} - 1 = 16777215$

Когда такой счетчик достигнет величины 16777215, тогда будет достигнут конечный отсчет. Следующий активный фронт заставит счетчик откатиться назад и начать отсчеты с 0.

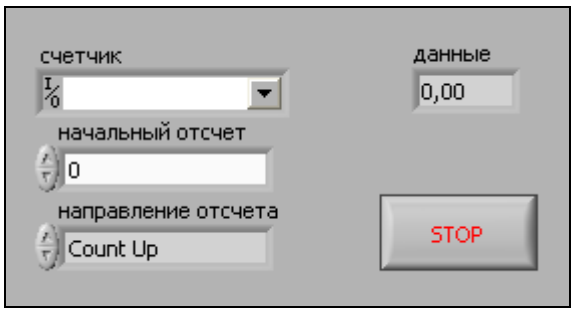
Упражнение 9-1. Простейший подсчет фронтов.

Задача: Создать ВП, выполняющий простейший подсчет фронтов.

В данном упражнении вы создадите ВП, записывающий число фронтов сигнала.

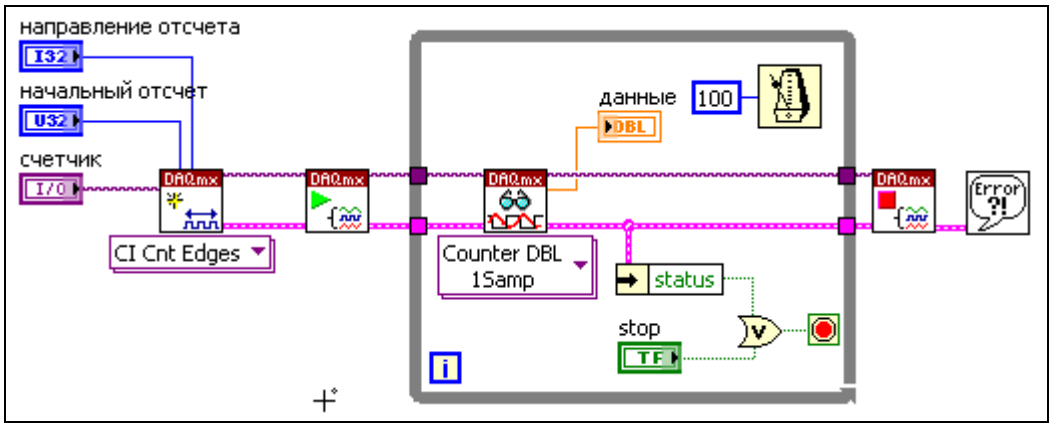
Лицевая панель

1. Откройте новый ВП. Следующая лицевая панель стала следствием построения блок-диаграммы.



Блок-диаграмма

2. Постройте следующую блок-диаграмму.



a. Поместите ВП DAQmx Create Virtual Channel, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП создает новый виртуальный канал. Выберите опции **Counter Input»Count Edges** из выпадающего меню конфигуратора этого ВП. Последовательно щелкайте правой кнопкой мыши на входах **count direction**, **initial count** и **counter inputs** и выбирайте **Create»Control** из появившегося контекстного меню.

b. Поместите ВП DAQmx Start Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП запускает задачу.

c. Поместите ВП DAQmx Read, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Выберите опции **Counter»Single Sample»DBL** из выпадающего меню конфигуратора для считывания из счетчика одиночного значения удвоенной точности с плавающей запятой.

Щелкните правой кнопкой мыши на выходе **data** и выберите **Create»Indicator** из контекстного меню.

d. Поместите ВП DAQmx Stop Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП останавливает выполнение задачи.

e. Поместите функцию Wait Until Next ms Multiple, расположенную в палитре **Functions»All Functions»Time & Dialog**, на блок-диаграмму.

f. Поместите функцию Unbundle by Name, расположенную в палитре **Functions»All Functions»Cluster**, на блок-диаграмму.

g. Поместите функцию Or, расположенную в палитре **Functions»Arithmetic & Comparison»Express Boolean**, на блок-диаграмму.

h. Поместите ВП Simple Error Handler, расположенный в палитре **Functions»All Functions»Time & Dialog**, на блок-диаграмму.

3. Сохраните ВП с именем `Simple Edge Counting.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

4. Присоедините канал A импульсного датчика положения (quadrature encoder) на испытательной коробке к информационному входу нулевого счетчика (Counter 0 Source) для устройств E-серии.

5. Для элементов управления на лицевой панели установите следующие значения:

- **Счетчик**: `Dev X/ctr0`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства
- **Начальный отсчет**: `0`
- **Направление отсчета**: `Count Up`

6. Запустите ВП. Поверните ручку импульсного датчика положения (quadrature encoder) на испытательной коробке. Индикатор **Данные** должен увеличить свое значение. Датчик положения генерирует импульс, который поступает на информационный вход счетчика 0.

7. Остановите и закройте ВП.

Конец упражнения 9-1

E. Дополнительные возможности подсчета фронтов

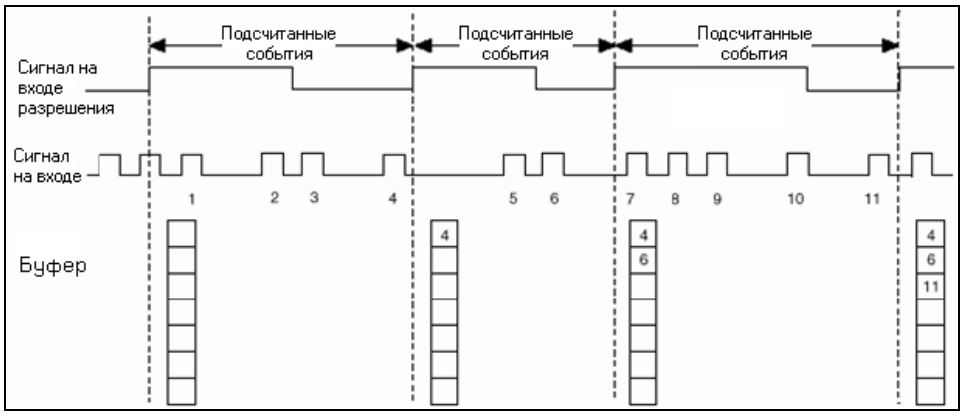
Кроме выполнения простейшего подсчета фронтов NI-DAQmx можно легко настроить для использования более сложных методов подсчета фронтов. Эти методы включают подсчет с использованием триггера паузы (управляемый подсчет), непрерывный буферизированный подсчет и подсчет конечного числа импульсов.

Управляемый подсчет

При использовании триггера паузы, также известного как управляемый триггер, дополнительный ТТЛ сигнал блокирует/разблокирует регистр отсчетов. Значение счетчика будет нарастать, только если сигнал на входе разрешения (gate) имеет низкий или высокий уровень, в зависимости от настроек, которые вы выбрали в узле свойств DAQmx Trigger property node.

Непрерывный буферизированный подсчет фронтов

При непрерывном буферизированном подсчете фронтов дополнительный ТТЛ сигнал «фиксирует» значение регистра отсчетов в буфере. Таким образом, значение в буфере обновляется только тогда, когда на вход разрешения (Gate) поступает активный фронт. Следующий рисунок демонстрирует перенос содержимого регистра в буфер.



Буферизированный подсчет фронтов полезен для измерения времени между последовательными фронтами, пришедшими на вход разрешения счетчика. Активные фронты на входе разрешения «запирают» текущие значения регистра отсчетов в памяти компьютера. Затем, используя прерывания или канал DMA (что программно настраивается с помощью узла свойств DAQmx Channel Property node), значения регистра отсчетов по отдельности передаются в программный буфер посредством шины PCI.

Буферизированный подсчет фронтов конечного числа импульсов

Буферизированный подсчет фронтов конечного числа импульсов использует тот же метод, что и непрерывный буферизированный подсчет, за исключением того, что теперь количество отсчетов ограничено. Как вы увидите в следующем упражнении, используя ВП DAQmx Timing можно задать число получаемых выборок.

Упражнение 9-2. Усовершенствованный подсчет фронтов.

Задача: Использовать триггер паузы и методы непрерывной и ограниченной буферизации для подсчета фронтов.

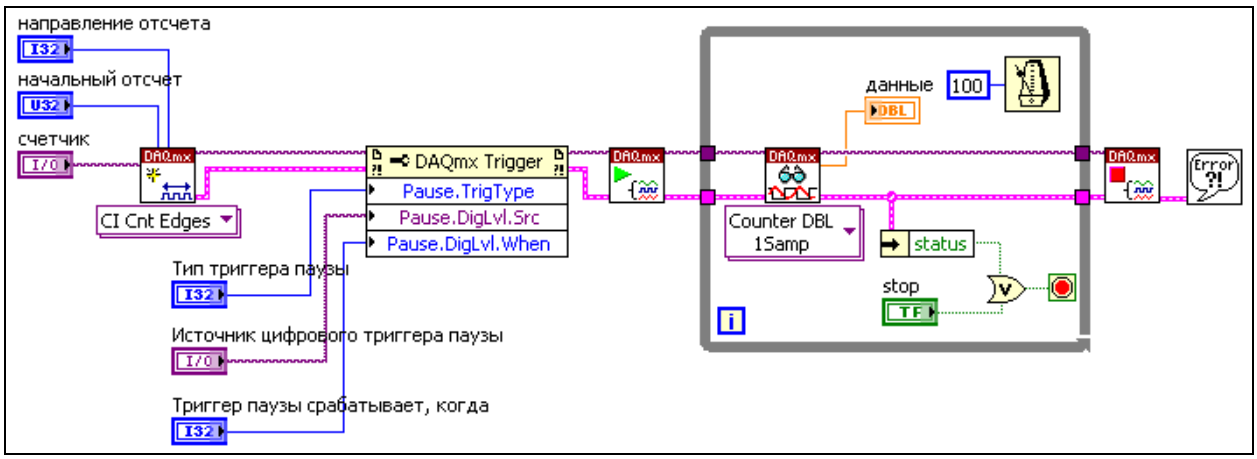
Подсчет с использование триггера паузы

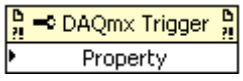
При подсчете с использованием триггера паузы (или управляемом подсчете) используется дополнительная линия для управления входом разрешения счетчика (gate). Сигнал разрешения будет временно останавливать увеличение или уменьшение значения счетчика, когда находится в нижнем либо в верхнем логическом состоянии (в зависимости от выбранных настроек).

1. Откройте ВП Simple Edge Counting, расположенный в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

2. Выберите **File»Save As** и сохраните ВП с именем `Simple Edge Counting - Gated.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

3. Измените блок-диаграмму, как показано на следующем рисунке.





a. Поместите узел свойств DAQmx Trigger Property Node, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Используйте этот узел свойств для дополнительной настройки триггера задачи. Измените размер узла, чтобы он вмещал три свойства. Щелкните правой кнопкой мыши на каждом из терминалов и выберите следующие свойства из контекстного меню:

– Properties»More»Pause»Trigger Type
– Properties»More»Pause»Digital Level»Source
– Properties»More»Pause»Digital Level»Pause When

b. Для каждого свойства щелкните правой кнопкой мыши на его терминале и выберите **Create»Control** из контекстного меню.

4. Переключитесь на лицевую панель и выберите следующие значения для новых элементов управления:

- **Тип триггера**: `Digital`

- **Источник**: `/Dev X/PFI0`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства. PFI0 соответствует кнопке цифрового триггера на испытательной коробке.

- **Триггер паузы срабатывает, когда**: `Low`

5. Запустите ВП. Поверните ручку импульсного датчика положения. Чтобы временно остановить подсчет, нажмите кнопку цифрового триггера. Удерживая кнопку нажатой, покрутите ручку импульсного датчика положения и обратите внимание, что значение числа отсчетов остается неизменным.

6. Остановите ВП и измените значение элемента управления **Триггер паузы срабатывает, когда**: `High`.

7. Запустите ВП и наблюдайте поведение счетчика при такой настройке триггера.

8. Сохраните и закройте ВП.

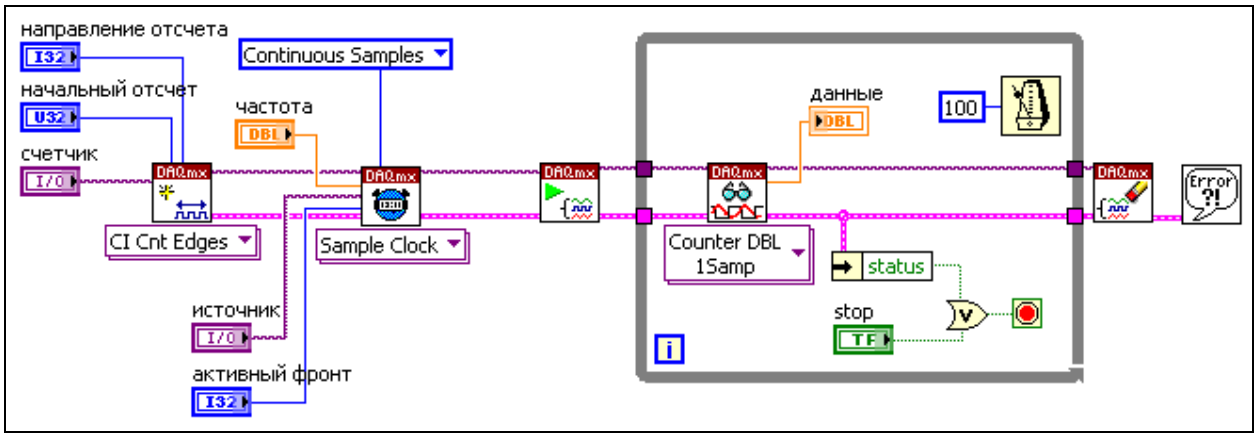
Непрерывный буферизированный подсчет

При непрерывном буферизированном подсчете источник сигнала на входе разрешения определяет, когда текущее значение счетчика переместится в регистр отсчетов во встроенной памяти. Для работы в таком режиме добавьте ВП DAQmx Timing в ВП Simple Edge Counting.

1. Откройте ВП Simple Edge Counting, расположенный в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

2. Выберите **File»Save As** и сохраните ВП с именем `Simple Edge Counting - Cont Buffered.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

3. Измените блок-диаграмму, добавляя ВП DAQmx Timing, как показано на следующем рисунке.



4. Переключитесь на лицевую панель и выберите следующие значения для новых элементов управления:

- **Источник**: `/Dev X/PFI0`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства
- **Активный фронт**: `Rising`
- **Частота**: `10000`

5. Запустите ВП. При нажатии кнопки цифрового триггера текущее значение отсчета фиксируется в регистре отсчетов. Поверните ручку импульсного датчика положения и обратите внимание, что значение индикатора данных не меняется. Нажмите кнопку цифрового триггера, чтобы зафиксировать и считать значение счетчика.

6. Сохраните и закройте ВП.

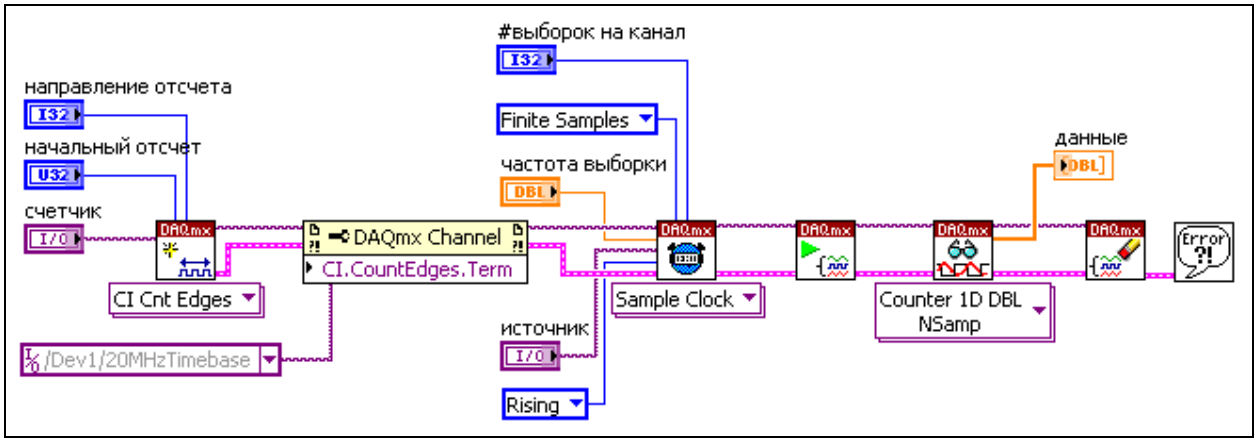
Буферизированный подсчет конечного числа импульсов

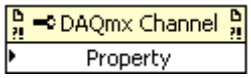
При подсчете конечного числа импульсов вы задаете полное число фронтов для подсчета. Подсчет прекратится, когда это число будет достигнуто.

1. Откройте ВП Simple Edge Counting, расположенный в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

2. Выберите **File»Save As** и сохраните ВП с именем `Simple Edge Counting - Finite Buffered.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

3. Измените блок-диаграмму, как показано на следующем рисунке.





a. Щелкните правой кнопкой мыши на границе цикла по условию и выберите **Remove While Loop** из контекстного меню.

b. Поместите узел свойств DAQmx Channel Property Node, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмме. Используйте этот узел свойств для настройки дополнительных параметров канала. Щелкните правой кнопкой мыши на терминале и выберите свойство **Properties»Counter Input»Count Edges»Input Terminal** из контекстного меню. Снова щелкните правой кнопкой мыши на этом терминале и выберите **Create»Constant** из контекстного меню и выберите константу 20 MHz Timebase для вашего DAQ устройства. Вместо подсчета количества поворотов ручки импульсного датчика положения, будут подсчитываться

фронты внутреннего временной развертки (timebase).
c. Поместите ВП DAQmx Clear Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП освобождает все ресурсы, отведенные задаче.

4. Переключитесь на лицевую панель и выберите следующие значения для новых элементов управления:

- **#выборок на канал**: `1000`
- **Частота**: `1000`
- **Источник**: `/Dev X/PFI9`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства. PFI9 – контакт, по умолчанию используемый для входа счетчика (Gate) счетчика 0.

5. Присоедините меандр с выхода функционального генератора на вход разрешения (Gate) счетчика 0.

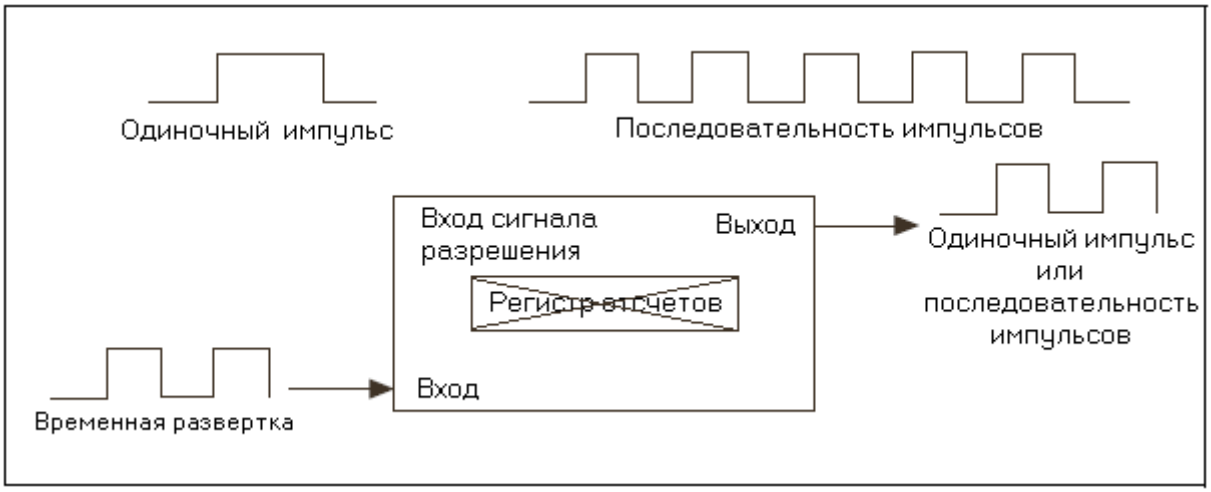
6. Запустите ВП. Вы должны увидеть обновляемое значение, находящееся в регистре, всякий раз, когда нарастающие фронты меандра будут приходить на вход разрешения счетчика.

7. Сохраните и закройте ВП.

Конец упражнения 9-2

F. Генерация импульсов

Счетчик не только измеряет ТТЛ сигналы, он также и генерирует ТТЛ сигналы. Использование счетчика для генерации ТТЛ сигнала приводит к генерации импульсов. Сигнал, показанный на следующей иллюстрации, получен на выходе счетчика. Сгенерированный сигнал может быть одиночным импульсом или непрерывным рядом импульсов, который называют последовательностью импульсов. Для помощи в генерации импульсов счетчик использует сигнал временной развертки на своем информационном входе. В рамках данного курса вам нужно понять, что временная развертка помогает генерировать импульс. То, каким образом временная развертка генерирует импульс, не является необходимым для программирования генерации счетчиком и выходит за пределы изучения в данном курсе.



Параметры импульса

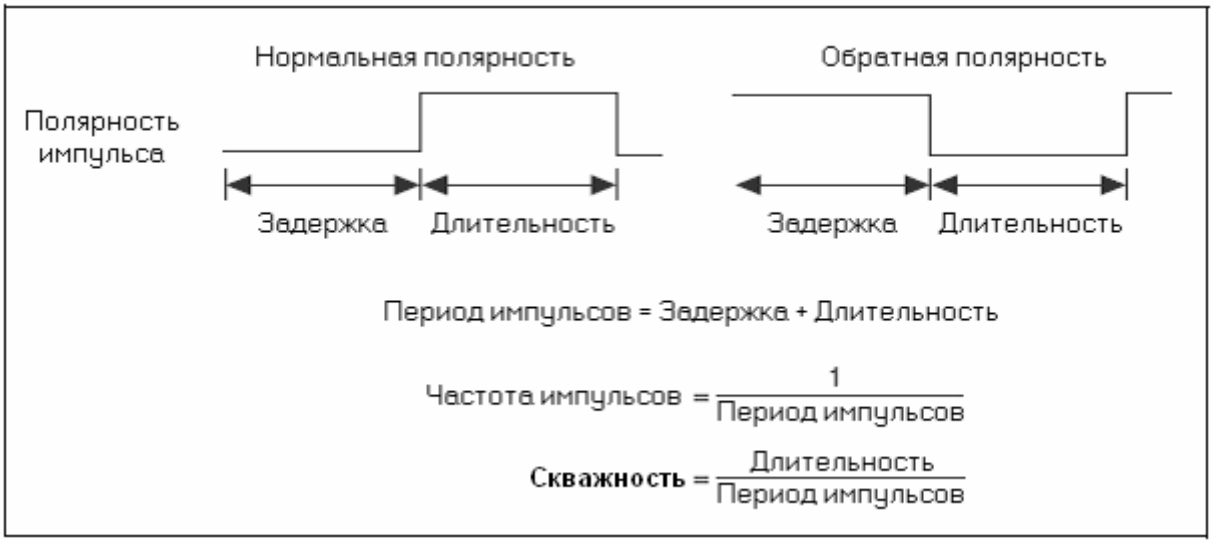
Для генерации импульса вы должны понимать, какие параметры имеет импульс. Импульс состоит из двух частей: задержки (delay) и длительности (width). Задержка – первая стадия генерации импульса, а длительность – вторая. Задержка и длительность всегда имеют противоположные логические уровни.

Например, если задержка имеет низкий логический уровень, тогда длительность должна иметь высокий логический уровень. Импульс может иметь нормальную и обратную полярность. У импульса нормальной полярности задержка имеет низкий логический уровень, а длительность высокий. У импульса обратной полярности наоборот, задержка имеет высокий логический уровень, а длительность низкий.

Периодом импульсов называют время, необходимое для завершения одного цикла, так что, складывая время задержки и длительность, мы получим период импульсов. Зная период импульсов, легко получить частоту следования импульсов, которая равна величине, обратной периоду импульсов.

Задержка и длительность не всегда равны между собой, поэтому необходимо свойство импульса, помогающее определить что больше, задержка или длительность. Параметр, который используется для этого, называется скважностью (duty cycle). На следующем рисунке приведена соответствующая формула. Скважность – это число, изменяющееся от 0 до 1. Его часто преобразуют в проценты. Импульс, у которого задержка равна длительности, будет иметь скважность, равную 0.5 или 50%.

Коэффициент заполнения больше 50% означает, что длительность больше задержки, если же коэффициент заполнения меньше 50%, то задержка больше длительности.



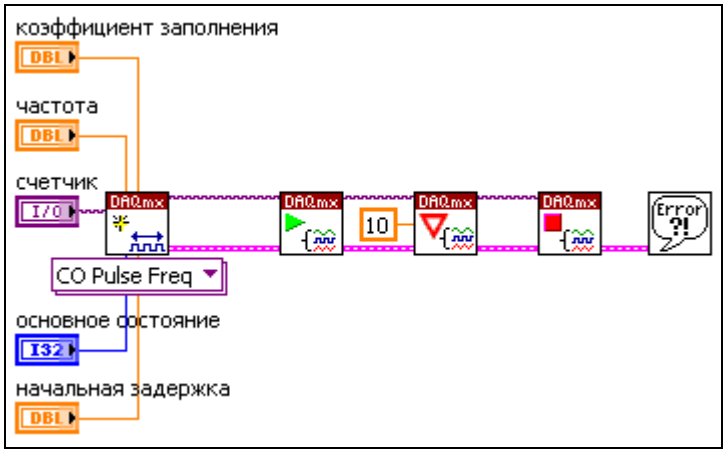
Упражнение 9-3. Генерация импульса.

Задача: Создать ВП для генерации отдельного импульса, используя счетчик.

Этот ВП демонстрирует генерацию сигнала с использованием счетчика. Хотя в данном упражнении вы будете выводить сигнал, заданный в терминах частотных параметров, подобным же образом можно выводить сигнал, заданный в терминах импульсных или временных параметров.

Блок-диаграмма

1. Откройте новый ВП и создайте следующую блок-диаграмму.



a. Поместите ВП DAQmx Create Virtual Channel, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП создает новый виртуальный канал. Выберите опции **Counter Output»Pulse Generation»Frequency** из выпадающего меню конфигуратора этого ВП.
Щелкните правой кнопкой мыши на вводах **duty cycle**, **frequency**, **counter**, **idle state** и **initial delay** и выберите **Create»Control** из контекстного меню.

b. Поместите ВП DAQmx Start Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП запускает задачу.

c. Поместите ВП DAQmx Wait Until Done, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП ожидает завершения выполнения генерации. Используйте этот ВП для того, чтобы быть уверенным, что генерация будет завершена, прежде чем задача будет остановлена.
Щелкните правой кнопкой мыши на вводе **timeout** и выберите **Create»Constant** из контекстного меню. По умолчанию время ожидания равно 10 секундам.

d. Поместите ВП DAQmx Stop Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП останавливает выполнение задачи.

2. Сохраните ВП с именем `Single Pulse Generation.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

3. Для элементов управления на лицевой панели установите следующие значения:

- **Счетчик**: `/Dev X/ctr1`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства
- **Скважность**: 0.5
- **Частота**: 0.5
- **Основное состояние**: `Low`
- **Начальная задержка**: `0.25`

4. Присоедините выход счетчика 1 к входу source счетчика 0 и аналоговому входу 1 на испытательной коробке.

5. Откройте ВП Continuous Acquire with MIO, расположенный в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

6. Для элементов управления на лицевой панели ВП Continuous Acquire with MIO установите следующие значения:

- **Физические каналы**: `Dev X/ai1`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства
- **#выборок на канал**: `1000`
- **Частота выборки**: `10000`

7. Запустите ВП Continuous Acquire with MIO.

8. Запустите ВП Single Pulse Generation. Вы должны увидеть импульс, появившийся на графическом индикаторе ВП Continuous Acquire with MIO. Обратите внимание, что сигнал имеет сначала низкий уровень, затем высокий, а затем снова низкий уровень.

Примечание. Простейший способ увидеть импульс – это отключить автоматическое масштабирование оси Y. Это можно сделать, щелкая правой кнопкой мыши на графике (ВП может быть запущен) и выбирая **AutoScale Y** из контекстного меню, чтобы убрать выделение этой опции. Наилучший диапазон для наблюдения импульсов – от -2 до 6.

9. Остановите ВП Continuous Acquire with MIO.

10. Откройте ВП Simple Edge Counting, расположенный в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

11. Установите для элемента управления **Счетчик** значение `/Dev X/ctr0`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства.

12. Запустите ВП Simple Edge Counting.

13. Запустите ВП Single Pulse Generation и обратите внимание, что значение на

индикаторе **данные** ВП Simple Edge Counting возрастает.

14. После окончания работы закройте все ВП. Не сохраняйте никаких изменений.

Конец упражнения 9-3

Упражнение 9-4. Генератор последовательности импульсов

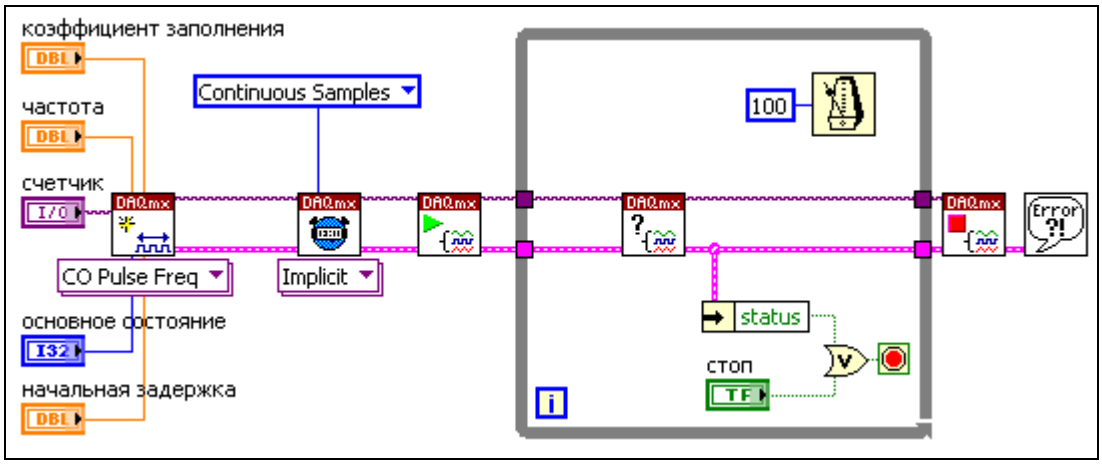
Задача: Создать ВП для генерации последовательности импульсов

В данном упражнении вы измените ВП Single Pulse Generation для генерации последовательности импульсов.

1. Откройте ВП Single Pulse Generation, расположенный в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

Блок-диаграмма

2. Измените блок-диаграмму, как показано на следующем рисунке.



a. Поместите ВП DAQmx Timing, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Выберите опцию Implicit из выпадающего меню конфигуратора этого ВП, чтобы задача генерировала выборки без ручной установки тактирования. Генерация последовательности импульсов идеальна для неявного (Implicit) задания тактирования, поскольку последовательность импульсов сама содержит все временные параметры.

b. Поместите ВП DAQmx Is Task Done, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition»DAQmx Advanced Task Options**, на блок-диаграмму. Этот ВП ожидает завершения генерации. Используйте этот ВП для того, чтобы быть уверенным в окончании генерации счетчика, прежде чем задача будет остановлена.

3. Установите для элементов управления лицевой панели следующие значения:

- **Счетчик**: `/Dev X/ctr1`, где `X` ссоответствует номеру вашего DAQ устройства.
- **Коэффициент заполнения**: `0.5`
- **Частота**: `0.5`

- **Основное состояние**: `Low`

- **Начальная задержка**: `0.25`

4. Присоедините выход счетчика 1 к аналоговому вводу 1 на испытательной коробке.

5. Выберите **File»Save As** и сохраните ВП с именем `Pulse Train Generator.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

6. Откройте ВП Continuous Acquire with MIO, расположенный в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

7. Введите для элементов управления лицевой панели ВП Continuous Acquire with MIO следующие значения:

- **Физические каналы**: `Dev X/ai1`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства

- **#выборок на канал**: `1000`

- **Частота выборки**: `10000`

8. Запустите ВП Continuous Acquire with MIO.

9. Запустите ВП Pulse Train Generator. Вы должны увидеть последовательность импульсов на графическом индикаторе ВП Continuous Acquire with MIO.

10. Остановите и закройте ВП Pulse Train Generator.

Конец упражнения 9-4

Упражнение 9-5. Генерация последовательности импульсов с перезапуском

Задача: Создать ВП для генерации последовательности импульсов с возможностью перезапуска.

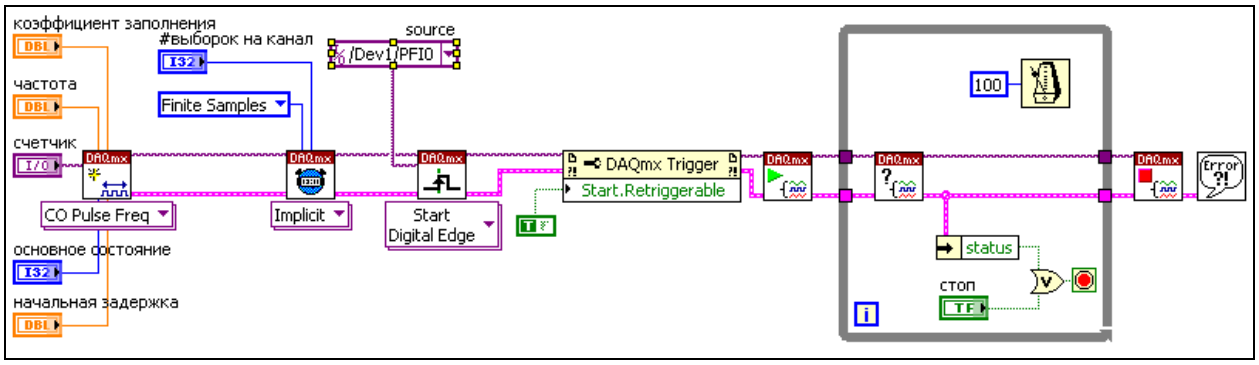
Можно так настроить генерацию отдельного импульса или конечной последовательности импульсов, чтобы ее можно было перезапускать. Счетчик остается в состоянии готовности после генерации первого импульса и может реагировать на триггерные сигналы на входе разрешения путем генерации импульса в своей выходной линии. В данном упражнении вы модифицируете ВП Pulse Train Generator для генерации с возможностью перезапуска последовательности импульсов.

1. Откройте ВП Pulse Train Generator, расположенный в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

2. Выберите **File»Save As** и сохраните ВП с именем `Retriggerable Pulse Train.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

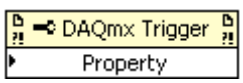
Блок-диаграмма

3. Измените блок-диаграмму, как показано на следующем рисунке.



a. Поместите ВП DAQmx Timing, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Оставьте настройку тактирования задачи прежней – **Implicit**. Для ввода **sample mode** установите `Finite Samples`. Щелкните правой кнопкой мыши на вводе **samples per channel** и выберите из контекстного меню опцию **Create»Control**.

b. Поместите ВП DAQmx Trigger, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП настраивает задачу на запуск по фронту цифрового сигнала. Щелкните правой кнопкой мыши на вводе **source** и выберите **Create»Constant** из контекстного меню. Для константы выберите значение `Dev X/PFI0`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства.



c. Поместите узел свойств DAQmx Trigger Property Node, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Используйте этот узел свойств для настройки дополнительных

параметров запуска задачи. Щелкните правой кнопкой мыши на терминале узла и выберите **Properties»Start»More»Retriggerable** из контекстного меню. Снова щелкните правой кнопкой мыши на узле свойств и выберите **Create»Constant** из контекстного меню. Для константы установите значение True, чтобы разрешить перезапуск последовательности импульсов.

4. Переключитесь на лицевую панель и установите следующие значения для элементов управления:

- **Счетчик**: `Dev X/ctr0`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства
- **Коэффициент заполнения**: `0.5`
- **Частота**: `5`
- **Основное состояние**: `Low`
- **Начальная задержка**: `0`
- **#выборок на канал**: `5`

5. Присоедините выход счетчика 0 к аналоговому вводу 1 на испытательной коробке.

6. Запустите MAX и откройте панель тестирования вашего NI-DAQmx устройства. Щелкните вкладку **Analog Input** и выберите подходящее имя канала. Установите для режима сбора данных **Acquisition Mode** значение `Continuous`, для частоты выборки **Rate** значение `50.00` и для числа точек **# Points to Read** значение `50`.

7. Запустите ВП. Нажмите кнопку цифрового триггера на испытательной коробке для запуска генерации импульсов. Посмотрите на панель тестирования и сосчитайте количество импульсов. Число импульсов должно быть эквивалентно значению элемента управления **#выборок на канал**.

8. Снова нажмите кнопку цифрового триггера. Последовательность импульсов будет генерироваться каждый раз, когда наступит триггерное событие, осуществляя таким образом перезапуск последовательности.

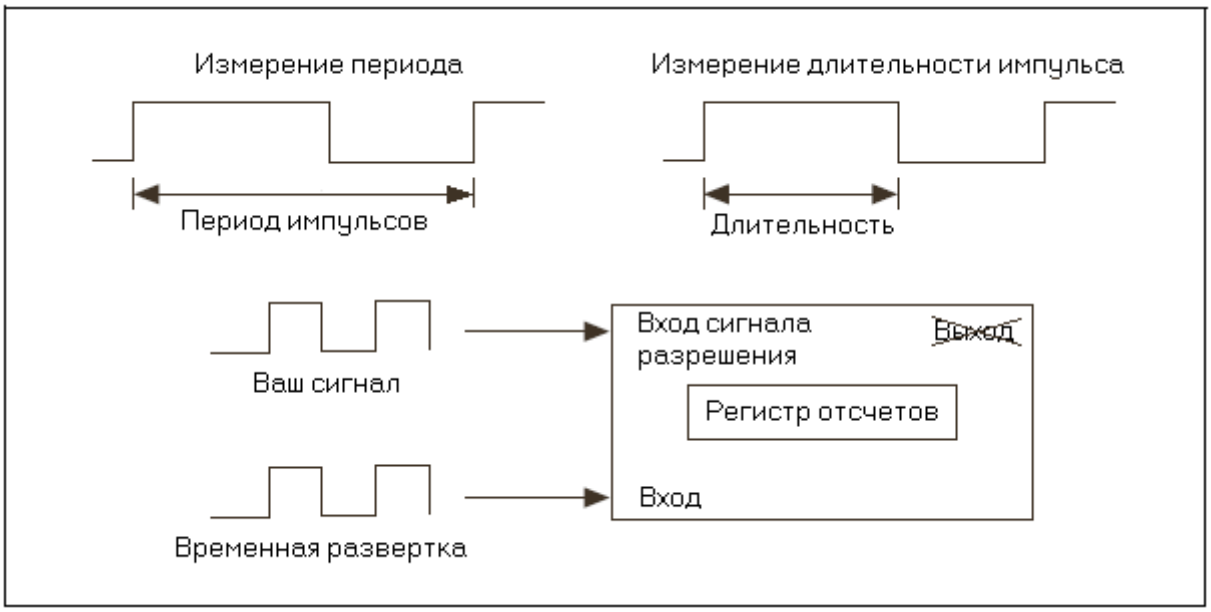
9. Остановите ВП и работу панели тестирования. Выйдете из MAX.

10. Сохраните и закройте ВП.

Конец упражнения 9-5

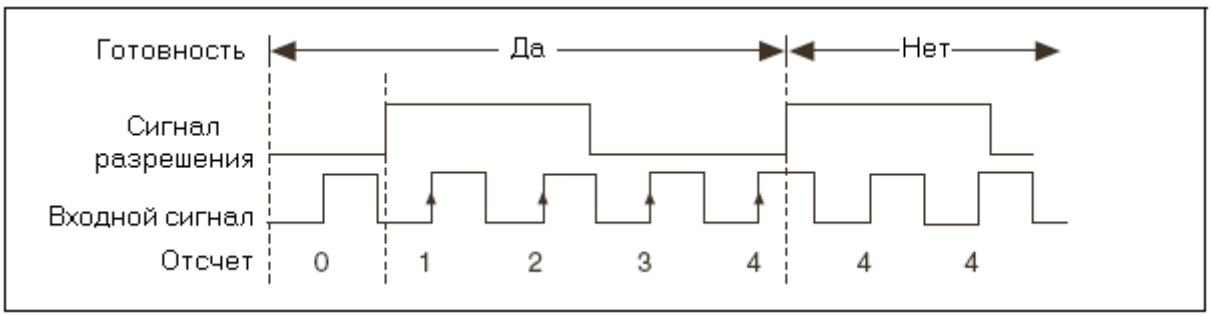
G. Измерение параметров импульсов

При измерении импульса исследуемый сигнал используется в качестве сигнала разрешения (Gate), а на информационный вход (Source) подается временная развертка известной частоты. Эта ситуация показана на следующем рисунке. Зная частоту развертки и значение в регистре отсчетов можно определить такие характеристики импульсов на входе разрешения, как период и длительность.



Измерение периода

Измерение периода – это измерение одной из характеристик импульсов. Измеряя период, вы вынуждены подсчитывать количество активных фронтов на входе счетчика. Однако, в отличие от простого подсчета фронтов, увеличение отсчетов будет происходить только тогда, когда один из периодов исследуемого сигнала поступит на вход разрешения. Следующий рисунок показывает процесс измерения периода, который запускается и останавливается нарастающим фронтом сигнала на входе разрешения (Gate).



Вы можете также запускать и останавливать подсчет спадающими фронтами сигнала. Отсчеты отражают число нарастающих фронтов сигнала на информационном входе за период времени между двумя нарастающими фронтами сигнала на входе разрешения. Следовательно, для измерения периода необходим сигнал с двумя нарастающими или спадающими фронтами. Отдельный импульс имеет только один нарастающий и один спадающий фронт, поэтому вы не сможете измерить период по одному импульсу.

В предыдущем примере на один период сигнала разрешения произошло четыре отсчета. Вспомните, что сигналом на входе счетчика является временная развертка известной частоты. Предположим, что мы используем развертку с частотой 100 кГц. Формула для вычисления периода записывается следующим образом:

Период импульсов = кол-во отсчетов × (1/частота входного сигнала)

В предыдущем примере со 100 кГц разверткой формула приводит к следующему результату:

Период импульсов = 4 × (1/100000) = 0.04 миллисекунды

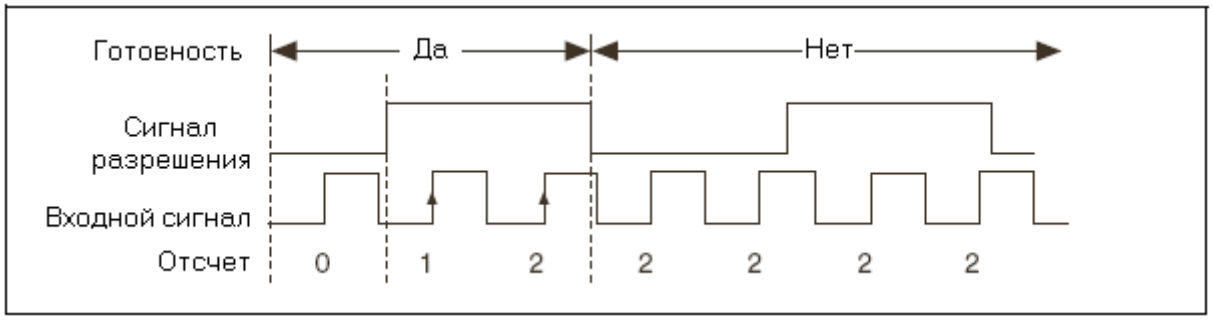
Измерение полупериода

Измерение полупериода очень похоже на измерение периода, но теперь мы измеряем время между двумя последовательными фронтами. Формула для вычисления полупериода выглядит следующим образом:
Полупериод импульсов = кол-во отсчетов × (1/ (2 × частота входного сигнала))
В предыдущем примере со 100 кГц разверткой формула приводит к следующему результату:

Период импульсов = 4 × (1/200000) = 0.02 миллисекунды

Измерение длительности импульса

Измерение длительности импульса очень похоже на измерение периода импульсов. Различие заключается в том, где вы останавливаете подсчет. При измерении периода вы запускали и останавливали подсчет двумя нарастающими фронтами сигнала на входе разрешения. При измерении длительности отсчет продолжается только во время длительности импульса, так что вы запускаете подсчет одним фронтом, а останавливаете фронтом другого типа. Значения числа отсчетов нарастает только за время между двумя разнотипными фронтами, как это проиллюстрировано на следующем рисунке.



Формула для вычисления длительности импульса совпадает с формулой для периода:

Длительность импульса = кол-во отсчетов × (1/частота входного сигнала)

В предыдущем примере сигнал с частотой 100 кГц приводит к следующей длительности
Длительность импульса = 2·× (1/100,000) = 0.02 миллисекунды

0.02 миллисекунды – это половина периода, так что сигнал на входе разрешения имеет скважность 50%.

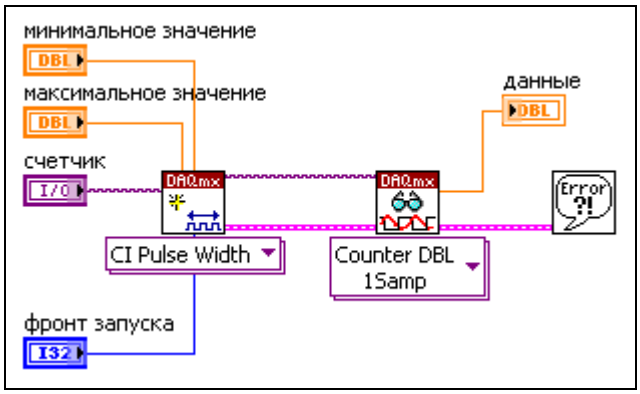
Упражнение 9-6. Измерение периода, полупериода и длительности импульса.

Задача: Создать ВП для измерения длительности импульса, периода и полупериода последовательности импульсов.

1. Откройте новый ВП и переключитесь на блок-диаграмму.

Измерение длительности импульса

2. Создайте следующую блок-диаграмму



3. Сохраните ВП с именем `Signal Measurements.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

4. Присоедините выход счетчика 0 (Out 0) ко входу разрешения счетчика 1 (Gate 1) на терминальной коробке.

5. Откройте ВП Single Pulse Generation, расположенный в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

6. Установите для элементов управления лицевой панели ВП Single Pulse Generation следующие значения:

- **Счетчик**: `Dev X/ctr0`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства
- **Скважность**: `0.5`
- **Частота**: `1`
- **Основное состояние**: `Low`
- **Начальная задержка**: `0.5`

7. Установите для элементов управления лицевой панели ВП Signal Measurements следующие значения:

- **Счетчик**: `Dev X/ctr1`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства
- **Фронт запуска**: `Rising`

- **Максимальное значение**: `0.001000`
- **Минимальное значение**: `0.000001`

Примечание. При измерении импульса нормальной полярности измеряемый сигнал должен начинаться с низкого логического уровня. И аналогично, при измерении импульса обратной полярности сигнал должен начинаться с высокого логического уровня. В противном случае при измерении возникнет ошибка.

8. Запустите ВП Signal Measurements.

9. Запустите ВП Single Pulse Generation.

Вы должны увидеть, что ВП Signal Measurements измерил длительность 0.5 секунды для импульса, сгенерированного ВП Single Pulse Generation.

Измерение периода

1. Закройте ВП Single Pulse Generation и откройте ВП Pulse Train Generator, созданный вами в упражнении 9-4.

2. Измените ВП Signal Measurements для измерения периода (Period) вместо длительности импульса (Pulse Width). Создайте элемент управления **Measurement Time** и установите его значение, равным `0.05`.

3. Установите для элементов управления лицевой панели ВП Pulse Train Generator следующие значения:

- **Счетчик**: `/Dev X/ctr0`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства
- **Коэффициент заполнения**: `0.5`
- **Частота**: `2`
- **Основное состояние**: `Low`
- **Начальная задержка**: `0.25`

4. Запустите ВП Pulse Train Generator.

5. Запустите ВП Signal Measurements. Обратите внимание, что измеряемый период равен 0.5 секунды.

6. Остановите ВП Pulse Train Generator.

Измерение полупериода

1. Измените ВП Signal Measurements для измерения полупериода (semi period) вместо периода (Period).

2. Запустите ВП Pulse Train Generator, значения элементов которого оставьте такими же, что и при измерении периода.

3. Запустите ВП Signal Measurements. Полупериод равен 0.25 секунды.

4. Остановите ВП Pulse Train Generator.

5. Сохраните ВП Signal Measurements.

6. Закройте все ВП.

Конец упражнения 9-6

H. Измерения частоты

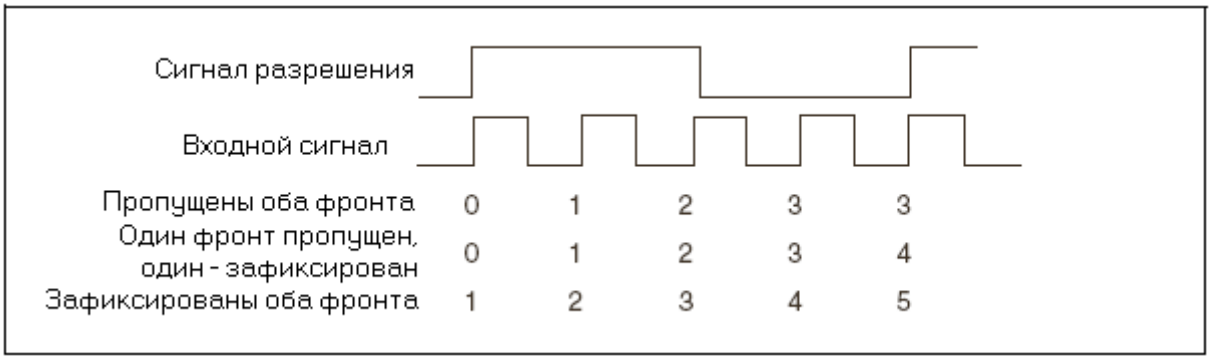
В данном параграфе описываются три способа измерения частоты ТТЛ импульсов с использованием одного или нескольких счетчиков. Частота осциллограммы равна её обратному периоду в любой данный момент времени. Следовательно, простейший способ измерения частоты заключается во взятии обратной величины от измеренного периода. Два других способа измерения частоты являются необходимыми в случае, когда при приближении частоты сигнала на входе разрешения к частоте временной развертки счетчика, ошибка измерения частоты первым способом сильно нарастает.

Период

Первый способ измерения частоты – это действительно измерение периода. Как только период найден, возьмите от него обратное значение для вычисления частоты. Преимуществами данного метода являются использование только одного счетчика и простота выполнения. Однако этот метод уверенно срабатывает только для относительно медленных сигналов, так как точность измерения периода зависит от числа фронтов входного сигнала, пришедших за один период сигнала на входе разрешения.

Ошибка синхронизации

При приближении частоты сигнала на входе разрешения к частоте входного сигнала, на измерения периода сильно влияет ошибка синхронизации. Например, рассмотрим измерение периода с использованием внутренней временной развертки с частотой 20 МГц, поданной на информационный вход счетчика. Теперь предположим, что сигнал на входе разрешения имеет частоту 5 МГц, что составляет ¼ частоты входного сигнала. Следующий рисунок показывает три возможных сценария развития событий, когда первый и последний фронты входного сигнала могут быть включены, а могут быть и не включены в измерение периода.



В первом сценарии при измерении теряются первый и последний входные фронты, приводя к подсчету только трех фронтов. Во втором сценарии захватываются четыре первых фронта, и теряется последний. В пятом сценарии все пять фронтов входного сигнала будут подсчитаны. Второй сценарий, очевидно, приводит к самому точному результату. Но, поскольку фронты входного сигнала практически совпадают по времени с фронтами сигнала разрешения, счетчик равновероятно может выполнить измерения по одному из трех вышеуказанных сценариев.

Измерения импульсов всегда имеют ошибку на ±1 период входного сигнала, которой можно пренебречь, когда один период входного сигнала составляет максимум 1% измеренного периода импульсов. Однако один период входного сигнала в нашем случае

составляет от 33% до 20% измеренного, что приводит к ошибке синхронизации, которую можно избежать, выбирая другую схему измерения.

Следующая таблица показывает, как происходит измерение периодов сигналов с частотами 50 кГц и 5 МГц.

Действительная частота	Количество 50 нс циклов	Ошибка измерения: +1 цикл	Ошибка измерения: -1 цикл	Частота с ошибкой +1 цикл	Частота с ошибкой -1 цикл
50 кГц	400	401	399	49,88 кГц	50,13 кГц
5 МГц	4	5	3	4 МГц	6,67 МГц

В NI-DAQmx этот метод называется **Low Frequency with 1 Counter** (**Низкая частота с одним счетчиком**)

Усреднение

Во втором методе измерения частоты используются два счетчика – один для генерации последовательности импульсов с известной частотой, а другой для измерения периода. Счетчик 1 измеряет период, используя в качестве входного внешний сигнал, а не внутреннюю временную развертку. Сигнал разрешения для счетчика 1 поступает с выхода счетчика 0, генерирующего последовательность импульсов. Поскольку вы знаете частоту выходного сигнала со счетчика 0, вы точно знаете длительность циклов сигнала разрешения для счетчика 1. Зная число фронтов сигнала, поступившего на вход счетчика 1, вы можете найти частоту, деля период, измеренный счетчиком 1, на период сигнала разрешения. Например, выходной сигнал счетчика 0 имеет частоту 10 Гц, период сигнала разрешения равен 0.1 с. Если в течение этого времени вы насчитали 100 фронтов на входе счетчика, то вы знаете частоту входного сигнала счетчика 1, а именно, она равна (100 ± 1)/0.1 или 1000 ± 10 Гц. В NI-DAQmx данный метод называется **High Frequency with 2 Counters (Высокая частота с двумя счетчиками)**.

Метод деления вниз

В третьем методе измерения частоты также используются два счетчика, только счетчик, который генерирует последовательность импульсов (счетчик 0) использует внешний сигнал в качестве входного, а счетчик, измеряющий период (счетчик 1), использует в качестве входного внутреннюю временную развертку. Как и в методе усреднения, здесь используется последовательность импульсов с выхода счетчика 0 в качестве сигнала разрешения для счетчика 1.

Преимуществом метода деления вниз является меньшая вносимая погрешность, по сравнению с двумя предыдущими методами.

Например, предположим, что запрограммировали счетчик 0 на генерацию последовательности импульсов с техническими параметрами 5 и 5. Это означает, что задержка и длительность равны пяти периодам входного сигнала, то есть период результирующей последовательности импульсов состоит из 10 периодов входного сигнала (частоту входного сигнала разделили на 10). В данном примере счетчик 1 настроен на измерение периода с использованием внутренней временной развертки с частотой 20 МГц в качестве входного сигнала. Если счетчик 1 зафиксировал 100 фронтов входного сигнала за время, равное периоду сигнала разрешения, то можно сделать вывод, что период сигнала разрешения равен 5 мкс (50 нс × 100 фронтов). Следовательно, можно прийти к

заключению, что внешний сигнал, поданный на вход счетчика 0 имеет период 0.5 мкс или частоту 2 МГц.

Запишем эти рассуждения в виде уравнения,

F = (технический параметр 1 + технический параметр 2) · временная развертка/(# фронтов входного сигнала ± 1)

В данном примере,
F = (5 + 5) · 20000000/(100 ± 1)

F = от 200000000/101 до 200000000/99

F = от 1,980,198 до 2,020,202 Гц

В NI-DAQmx этот метод называется **Large Range with 2 Counters (Широкий диапазон частот с двумя счетчиками)**.

Занятие 9-7. Измерение частоты

Задача: Создать ВП для измерения частоты с использованием счетчика.

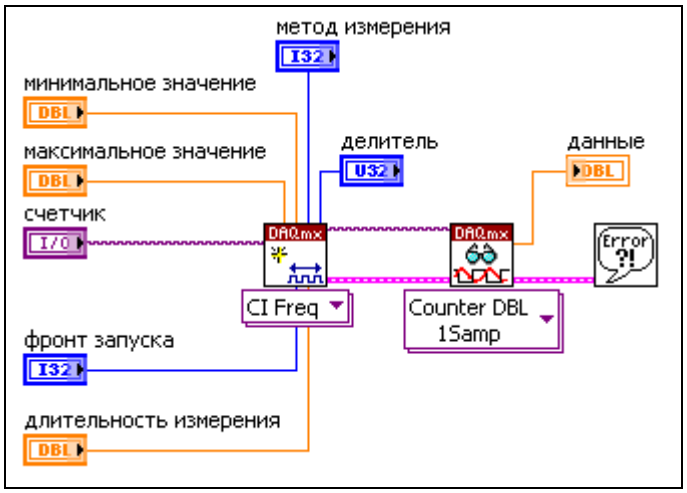
В этом упражнении применяются три различных метода измерения частоты – обратного периода, усреднения и деления вниз.

1. На испытательной коробке подайте меандр с выхода функционального генератора на вход разрешения (Gate) счетчика 1.

2. Откройте новый ВП и переключитесь на блок-диаграмму.

Метод обратного периода

3. Постройте следующую блок-диаграмму.



a. Щелкните правой кнопкой мыши на следующих вводах ВП DAQmx Create Virtual Channel: **measurement method**, **minimum value**, **maximum value**, **counter**, **starting edge**, **measurement time** и **divisor** и выберите **Create»Control** из контекстного меню.

b. Для ВП DAQmx Read выберите опции **Counter»Single Sample»Double** из выпадающего меню конфигуратора. Щелкните правой кнопкой мыши на выходе **data** и выберите **Create»Indicator** из контекстного меню.

4. Сохраните ВП с именем `Frequency Measurements.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

5. Установите для элементов управления на лицевой панели следующие значения:

- **Счетчик**: `Dev X/ctr1`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства
- **Минимальное значение**: `2`
- **Максимальное значение**: `10000`
- **Делитель**: `4`

- **Фронт запуска**: `Rising`

- **Длительность измерения**: `1`

6. На испытательной коробке установите переключатель частотного диапазона Frequency Range в положение 100 Hz – 10 kHz. Поверните ручку подстройки частоты в крайнее левое положение. Функциональный генератор должен выдавать сигнал с частотой 100 Гц.

7. Запустите ВП. Индикатор данных должен отобразить примерно 100 Гц.

8. Поэкспериментируйте с ВП, изменяя частоту сигнала ручкой подстройки и снова запуская ВП.

Метод усреднения

9. 1. На испытательной коробке подайте меандр с выхода функционального генератора на вход Source счетчика 1.

10. Измените значение элемента управления **метод измерения** на `High Frequency with 2 Counters`. Уменьшите **Длительность измерения** до 0.001. Увеличьте **Максимальное значение** до `1000000`.

11. На испытательной коробке установите переключатель частотного диапазона Frequency Range в положение 13 kHz – 1 MHz. Поверните ручку подстройки частоты в крайнее правое положение.

12. Запустите ВП. Индикатор данных должен отобразить примерно 1 МГц.

13. Поэкспериментируйте с ВП, изменяя частоту сигнала ручкой подстройки и снова запуская ВП.

Метод деления вниз

14. Измените значение элемента управления **метод измерения** на `Large Range with 2 Counters`. Установите минимальное значение равным `5`.

15. На испытательной коробке установите переключатель частотного диапазона Frequency Range в положение 13 kHz – 1 MHz. Поверните ручку подстройки частоты в крайнее правое положение.

16. Запустите ВП. Индикатор данных должен отобразить примерно 1 МГц.

17. Поэкспериментируйте с ВП, изменяя частоту сигнала ручкой подстройки и снова запуская ВП.

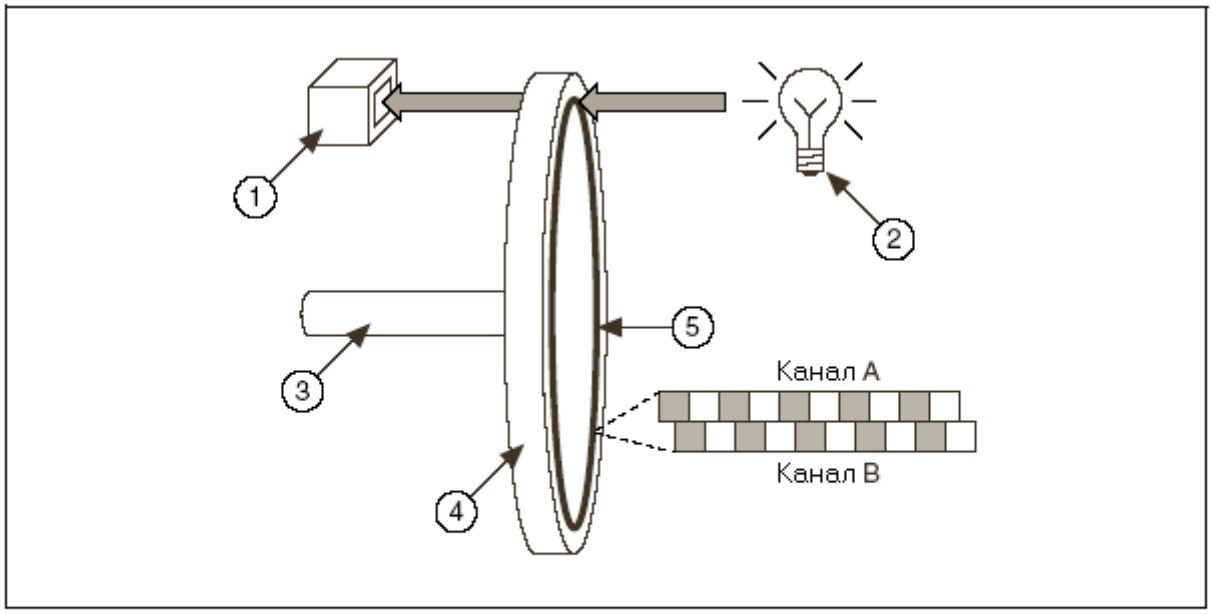
Конец упражнения 9-7

I. Измерение положения

Импульсный датчик положения (quadrature encoder) – распространенный измерительный преобразователь, используемый в приложениях со счетчиками. Импульсный датчик положения, как видно из названия, позволяет измерять положение и преобразует вращательное движение в измеримый сигнал. Испытательная коробка имеет встроенный импульсный датчик положения. Из четырех микросхем счетчиков только одна NI-TIO непосредственно поддерживает импульсный датчик положения. Сигналы импульсных датчиков *могут* быть измерены микросхемами Am9513 и DAQ-STC, но ни один из этих чипов не был специально разработан для работы с датчиками положения. Для измерения сигналов импульсных датчиков положения наилучшим выбором является, конечно, микросхема NI-TIO.

Как работает датчик положения

Датчик положения – это измерительный преобразователь, позволяющий измерять положение или расстояние. Для понимания работы преобразователя изучите следующий рисунок.



1 Датчик света
2 Источник света
3 Вал
4 Вращающийся диск
5 Кодовая дорожка

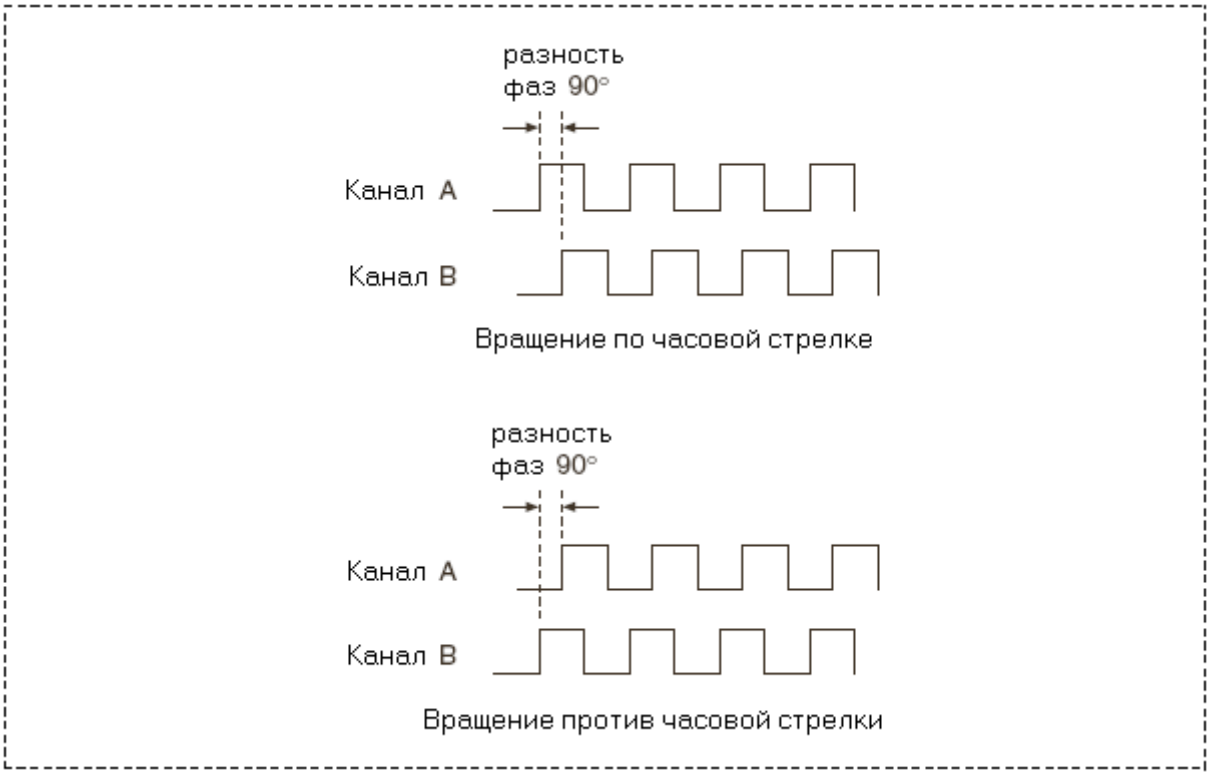
Импульсный датчик положения преобразует вращательное движение в измеримый сигнал. Вращательное движение создается поворотом вала. Нас может заинтересовать направление его вращения и скорость (или частота) вращения. К валу присоединен диск, так что он вращается в том же направлении и с той же скоростью, что и вал. Вращающийся диск помещен между источником света и светочувствительным элементом. Диск имеет чередующиеся непрозрачные и прозрачные участки, которые называются кодовой дорожкой.

Непрозрачные участки блокируют попадание света от источника на светочувствительный элемент, а прозрачные наоборот – пропускают его. Кодовая дорожка состоит из двух колец чередующихся непрозрачных и прозрачных участков. Каждое из колец создает последовательность импульсов. Эти кольца смещены (по углу) друг относительно друга, так что в зависимости от направления вращения диска одна

последовательность опережает другую. Число прозрачных и непрозрачных участков определяет количество импульсов, производимых за один оборот. И это – важная особенность, позволяющая вам отслеживать количество оборотов вала. Импульсный датчик положения на испытательной коробке генерирует 24 импульса за один оборот ручки.

Импульсный датчик положения

Большинство датчиков положения генерируют ТТЛ совместимый сигнал, который можно использовать совместно со счетчиками. Как вы уже видели, импульсный датчик положения генерирует две последовательности импульсов. Эти две последовательности называют Канал А (Channel A) и Канал В (Channel B). Каналы А и В сдвинуты по фазе относительно друг друга на 90 градусов, как показано на следующем рисунке. Опережающий канал определяет направление вращения. Если датчик вращается по часовой стрелке, Канал А будет опережать Канал В. Если же датчик вращается против часовой стрелки, Канал В будет опережать Канал А.



Примечание. Некоторые датчики положения генерируют сигналы, не подходящие для счетчиков. Например, некоторые датчики генерируют дифференциальный сигнал, а ни одна из микросхем счетчиков компании NI не поддерживает дифференциальных входов. Если сигнал, производимый датчиком положения, не подходит для используемой микросхемы счетчика, то необходимо использовать согласование сигнала перед подачей его на счетчик.

Линия направления отсчета

Для измерения сигналов датчиков положения при помощи DAQ-STC необходимо использовать специальный вход счетчика, который называется линией направления отсчета (up/down line). Для счетчика 0 эта линия имеет контакт DIO6 на схеме расположения выводов, а для счетчика 1 – DIO7 (т.е. совпадает с соответствующими

цифровыми линиями). Линия направления отсчета задает, будет ли активный фронт увеличивать или уменьшать отсчет. Если сигнал в линии направления отсчета имеет высокий логический уровень, то активный фронт на входе счетчика будет увеличивать отсчет. В противном случае, наоборот, активный фронт на входе счетчика будет уменьшать отсчет.

DAQ-STC и датчики положения

Для измерения сигнала с датчика положения с помощью DAQ-STC необходимо использовать информационный вход счетчика (Source) и линию повышения/понижения.(Up/Down Line). Присоедините Канал A ко входу Source счетчика, а Канал B к линии повышения/понижения. При подключении сигнала на испытательной коробке обратите внимание, что Канал B уже присоединен к DIO6, так что вам осталось только присоединить Канал A к входу используемого счетчика. Настройте счетчик для простого подсчета фронтов и установите спадающий фронт активным. Отсчет будет изменяться, когда спадающий фронт поступит в Канал A, а Канал B будет определять, увеличится или уменьшится отсчет. Когда датчик положения повернется по часовой стрелке, Канал A опередит Канал B. Если Канал A опередит Канал B, спадающий фронт в Канале A появится в то время, когда Канал B будет иметь высокий логический уровень, поэтому значение счетчика возрастет. Аналогично, когда датчик положения повернется против часовой стрелки, отсчет уменьшится. Принято, что движение по часовой стрелке увеличивает отсчет, а против часовой стрелки – уменьшает. Если вы хотите изменить поведение с точность до наоборот, то можете установить активным фронтом нарастающий фронт импульса.

Обращайтесь к замечанию по применению плат E-серии *Using Quadrature Encoders with E Series DAQ Boards* за большей информацией об использовании счетчика/таймера DAQ-STC совместно с импульсными датчиками положения.

Упражнение 9-8. Импульсный датчик положения

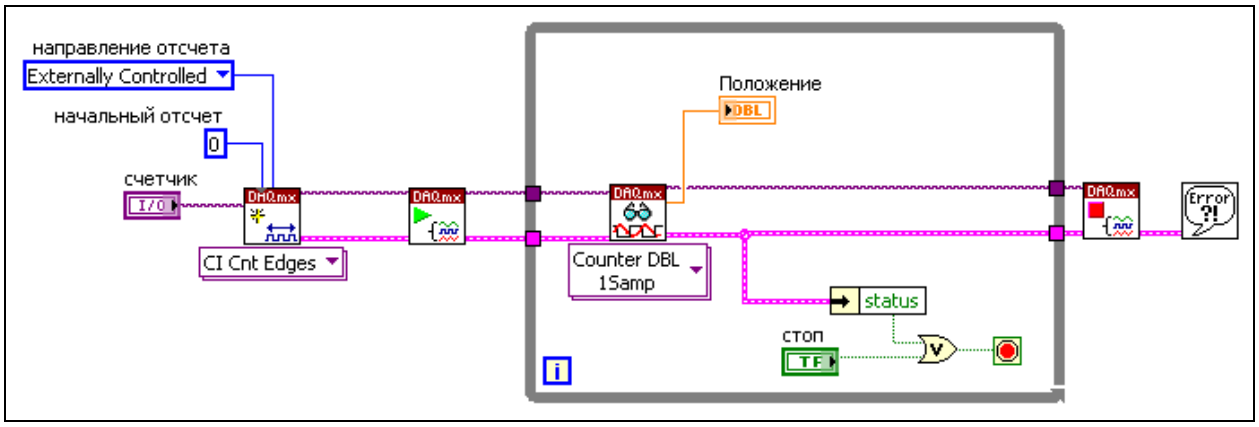
Задача: Измерить вращение датчика положения на испытательной коробке, используя дополнительные виртуальные приборы для работы со счетчиками.

1. Присоедините Канал A импульсного датчика положения к входу счетчика 0 на испытательной коробке.

Примечание. Входом линии направления отсчета счетчика 0 является контакт DIO6. Канал B на испытательной коробке внутренне соединен с DIO6. Поэтому еще раз соединять вход линии направления отсчета счетчика 0 не надо.

2. Откройте ВП Quadrature Encoder, расположенный в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

3. Измените блок-диаграмму, как показано на следующем рисунке.



Терминал **направление отсчета** имеет значение `Externally Controlled`. Для устройств на основе STC port0/line6 управляет направлением отсчета счетчика 0.

Лицевая панель

4. Переключитесь на лицевую панель и установите для **счетчика** значение `Dev X/ctr0`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства.

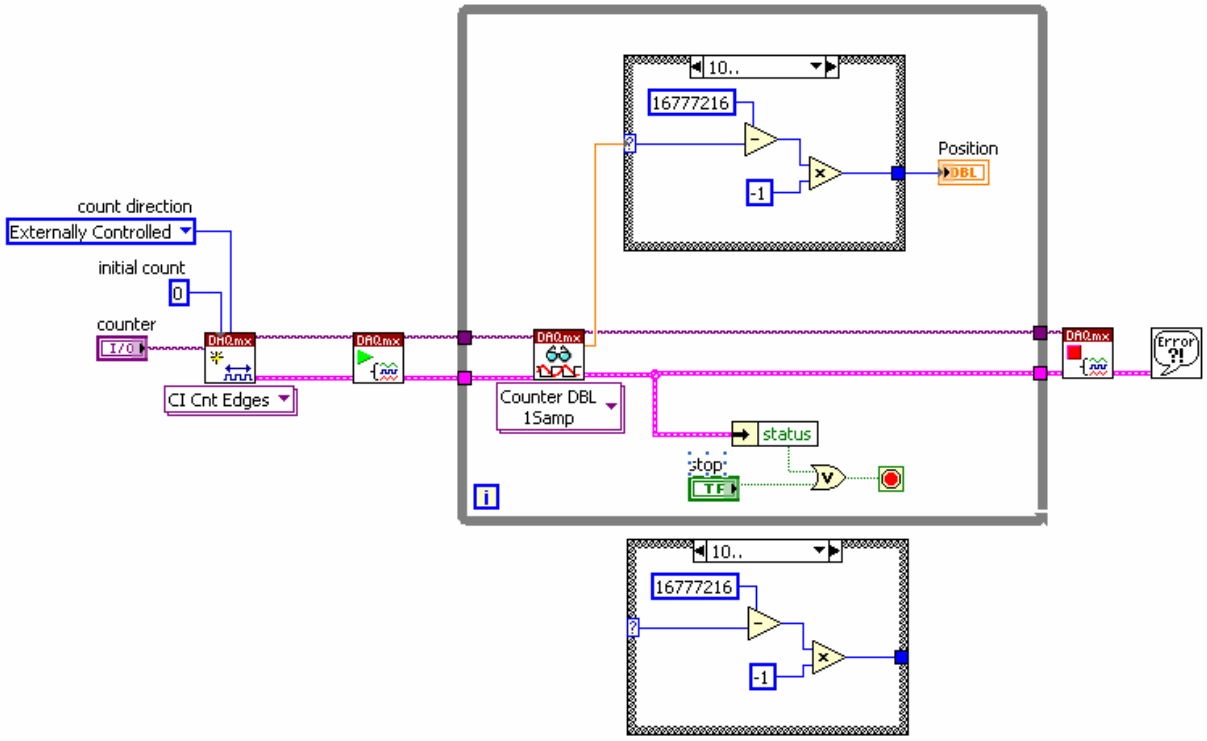
5. Запустите ВП. Медленно поверните ручку датчика положения на испытательной коробке назад и вперед, чтобы видеть, как это влияет на показания счетчика.

При повороте ручки датчика по часовой стрелке величина положения возрастает, начиная с нуля. Когда вы повернете ручку против часовой стрелки, величина положения будет вначале равна нулю и затем начнет уменьшаться, начиная с 16777215 (= $2^{24} - 1$). Чтобы преобразовать это значение в удобочитаемый вид, такой как –1, –2, ..., существуют два способа.

- Вы можете считывать состояние порта 0/линии 6 для определения, возрастает или уменьшается отсчет счетчика. Если порт 0/линия 6 находится в состоянии уменьшения отсчета, то примените к значению положения преобразование поразрядного дополнения до 1.

- Вы можете поручить самому пользователю, определять предел максимального отсчета. В этом случае вы игнорируете состояние порта 0/линии 6. Если величина, возвращенная со счетчика, превышает определенный пользователем максимальный отсчет, вы применяете преобразование поразрядного дополнения до 1 к величине положения.

Измените блок-диаграмму для осуществления второго способа, как показано на втором рисунке.



В структуре варианта установите максимальную величину отсчета, которую устанавливает пользователь, равной десяти. Когда значение положения, возвращенное счетчиком, превысит десять, преобразуйте число к его дополнению до 1. Если же значение положения меньше десяти, оставьте значение неизменным. Конечно, число десять невелико, но его вполне достаточно для демонстрации использования данного способа.

6. Запустите ВП и вращайте ручку датчика положения против часовой стрелки. Вместо очень больших цифр (где-то в районе 16777215), мы теперь видим величину положения относительно нуля.

7. Сохраните и закройте ВП.

Конец упражнения 9-8

Итоги

- Счетчики принимают и генерируют ТТЛ сигнал.

- Основные компоненты счетчика это: информационный вход, вход разрешения, выход и регистр отсчетов.

- Устройства компании NI одну из следующих двух типов микросхем:

  – DAQ-STC (24-bit)— устройства E-серии

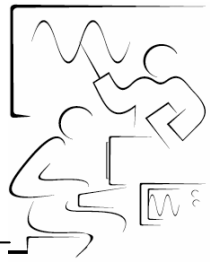
  – NI-TIO (32-bit)— устройства семейства 660*x*

- Для подсчета фронтов, генерации импульсов и измерения частоты вы можете использовать виртуальные приборы из палитры Easy Counter.

- Импульсный датчик положения – это преобразователь вращательного движения, генерирующий две последовательности импульсов, сдвинутых по фазе на 90 градусов.

Примечания

Занятие 10
Синхронизация



На данном занятии описываются явное управление последовательностью выполнения задачи, синхронизация внутри устройства сбора данных и синхронизация нескольких DAQ устройств.

Задачи:

A. Явное управление последовательностью выполнения задачи
B. Синхронизация внутри устройства сбора данных
C. Синхронизация нескольких устройств сбора данных

A. Явное управление последовательностью выполнения задачи

NI-DAQmx использует модель состояния для управления распределением ресурсов и потоком выполнения задач. Эта модель состояния называется моделью состояния задачи. Модель состояния задачи очень гибка в использовании, и вы можете выбрать взаимодействие с моделью состояния задачи в такой степени, в какой это требуется вашему приложению. Вызов виртуальных приборов DAQmx Start, DAQmx Stop и DAQmx Control Task переводит задачу из одного состояния в другое. Вы можете осуществлять явный переход в каждой из задач, используя ВП DAQmx Control Task, или же позволить NI-DAQmx совершать переход между состояниями неявно. Модель состояния задачи состоит из пяти состояний – Непроверенного, Проверенного, Зарезервированного, Назначенного и Выполнения.

- **Unverified (Непроверенное)** – Когда задача создана или загружена явно или неявно, то по умолчанию состоянием будет непроверенное. В этом состоянии вы настраиваете тактирование, триггеры и свойства канала в задаче.

- **Verified (Проверенное)** – При переходе задачи из непроверенного состояния в проверенное проверяются правильность настройки тактирования, триггеров и свойств канала. Если все настройки правильны, задача успешно подтверждается и переходит в проверенное состояние. В противном случае она остается в непроверенном состоянии. Для явного задания перехода вызовите ВП DAQmx Control Task с вводом **action (действие)** в режиме проверки (verify).

- **Reserved (Зарезервированное)** – Ресурсы, которые использует задача для совершения определенной операции, выделяются только тогда, когда задача переходит из проверенного состояния в зарезервированное. Этими ресурсами могут быть тактовые генераторы, физические каналы устройства или буферная память в компьютере. Резервирование этих ресурсов предотвращает их использование другими задачами, что могло вызвать сбой либо конфликты при выполнении первой задачи. Если задача может получить доступ ко всем необходимым ресурсам, она переходит в зарезервированное состояние. В противном случае она остается в проверенном состоянии. Для явного задания перехода вызовите ВП DAQmx Control Task с вводом **action (действие)** в режиме резервировать (reserve).

- **Committed (Назначенное)** – После того, как все необходимые ресурсы были получены, необходимо запрограммировать настройки этих ресурсов. Успешное программирование этих ресурсов приводит к переходу задачи в назначенное состояние. Примером настройки может являться размер буферной памяти в компьютере. Если переход не произошел, то выполнение задачи прерывается, и она будет возвращена в проверенное состояние. Для явного задания перехода вызовите ВП DAQmx Control Task с вводом **action (действие)** в режиме назначить (commit).

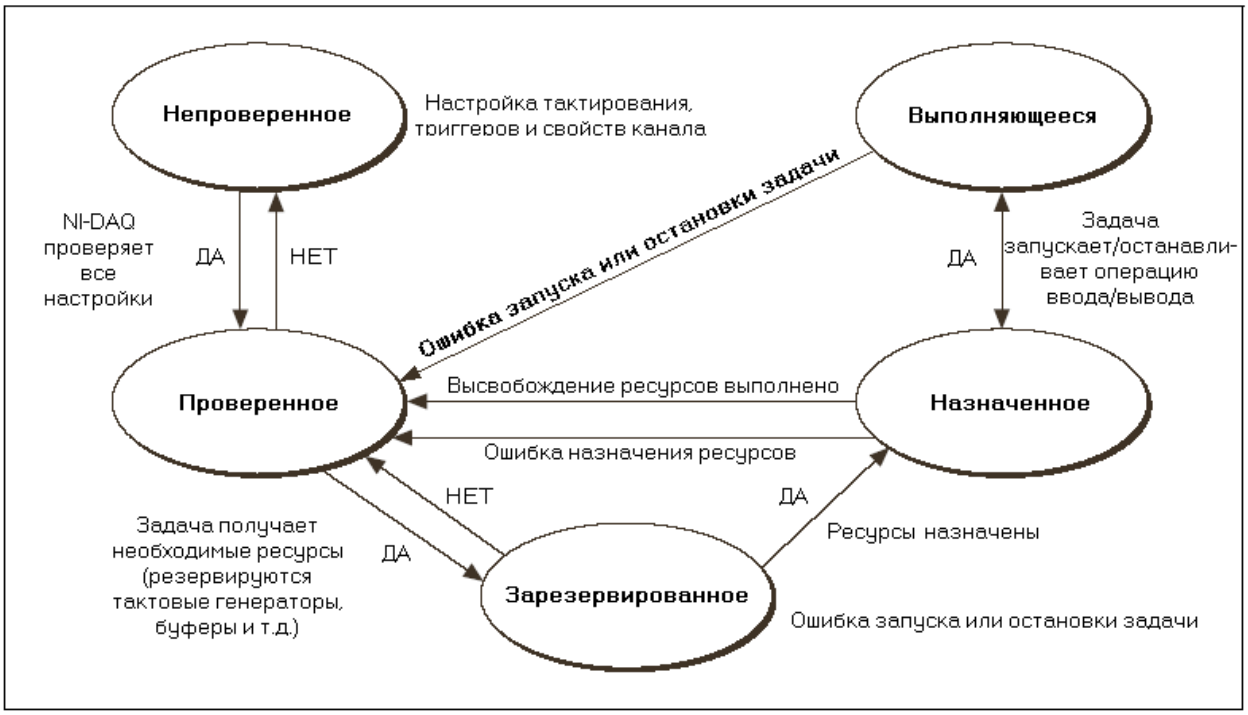
  Когда ресурсы задачи для выполнения определенной операции высвобождены, задача осуществляет переход из назначенного состояния в проверенное. Для явного задания этого перехода вызовите ВП DAQmx Control Task с вводом **action (действие)** в режиме Unreserve. Когда задача успешно освободит все занятые ресурсы, она перейдет назад в проверенное состояние.

- **Running (Выполнение)** – Когда задача начинает выполнять определенную операцию,

она переходит из назначенного состояния в состояние выполнения. Вы можете явно задать этот переход, вызывая ВП DAQmx Start. Обратите внимание, что запуск задачи не обязательно означает запуск сбора данных или генерацию осциллограммы. Например, свойства тактирования и триггера могли быть заданы таким образом, что выборка не будет получена до тех пор, пока не будет вызван ВП DAQmx Read, или осциллограмма не будет генерироваться до тех пор, пока не наступит триггерное событие. Если переход в состояние выполнения не произошел, выполнение задачи прерывается, и она возвращается в проверенное состояние.

Чтобы остановить задачу перед выполнением определенной операции, вызовите ВП DAQmx Stop. Это заставит перейти задачу из состояния выполнения в назначенное состояние. Если этот переход по каким-то причинам не произойдет, то выполнение задачи прекратится, и она возвратится в проверенное состояние.

Следующая иллюстрация обобщает все вышесказанное о модели состояния задачи.



Явное управление последовательностью выполнения задачи

В большинстве случаев сбора данных вам редко понадобится явное взаимодействие с моделью состояния задачи – можно доверить самой задаче выполнение неявных переходов между состояниями. Однако существуют случаи, когда необходимо использовать явное управление последовательностью выполнения задачи.

- **Verify** – Если пользователи вашего приложения интерактивно настраивают задачу, устанавливая различные свойства каналов, тактирования и триггеров, то явно определяйте задачу, чтобы, когда это необходимо, оповещать пользователей, что они установили для свойства неработоспособное значение.

- **Reserve** – В следующем случае необходимо явно резервировать задачу: ваше приложение содержит много различных задач, которые используют один и тот же набор ресурсов, одна из задач непрерывно повторяет выполнение своей операции, и вы хотите быть уверенным, что в момент ее выполнения никакая другая задача не

получает этих ресурсов.

Резервирование определенной задачи приводит к тому, что последняя эксклюзивно получает необходимые ресурсы, в то время как остальные задачи не могут получить этих ресурсов. Например, если приложение содержит две задачи, каждая из которых совершает последовательность измерений, и вы хотите быть уверенным, что каждая задача завершит выполнение своей последовательности прежде, чем начнет другая, то можете использовать явное резервирование каждой задачи перед началом ее последовательности измерений.

- **Commit** – Явное назначение задачи будет полезным, если приложение совершает несколько измерений или генераций, повторяя запуск и остановку задачи. Явное назначение задачи приведет к тому, что она эксклюзивно получит необходимые ресурсы, и будут запрограммированы настройки этих ресурсов. При явном назначении эти операции будут совершены лишь однажды, а не каждый раз при запуске задачи, что значительно сократит время, необходимое для запуска задачи. Например, если приложение циклически совершает аппаратно синхронизированный сбор ограниченного числа выборок, то время, необходимое для запуска задачи, может очень сильно уменьшиться, если вы явно назначите задачу перед циклами этих измерений. Явное назначение задачи также требуется, если необходимы дополнительные операции считывания выборок, полученных задачей, после остановки задачи.

- **Start** – Если приложение циклически совершает операции чтения или записи, то будет полезен явный запуск задачи. Запуск задачи резервирует используемые ресурсы, программирует некоторые настройки этих ресурсов и начинает выполнение заданной операции. При явном запуске задачи эти действия совершаются единожды, а не при каждом выполнении операций чтения или записи. Этот процесс может значительно уменьшить время, необходимое для выполнения каждой операции чтения или записи. Например, приложение циклически производит выборку одной точки данных или, что то же, программно синхронизированные операции считывания. Тогда, если перед этими циклами вы явно запустите задачу, то время, необходимое для каждой операции считывания, может заметно уменьшиться.

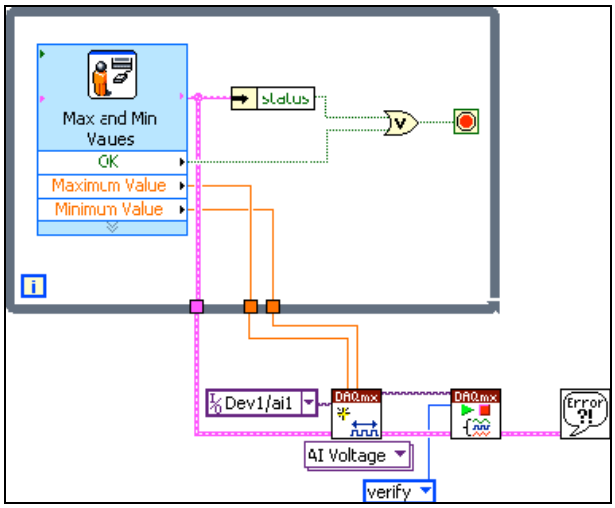
Упражнение 10-1. Явное управление выполнением задачи.

Задача: Создать ВП для явного перехода между различными состояниями задачи NI-DAQmx

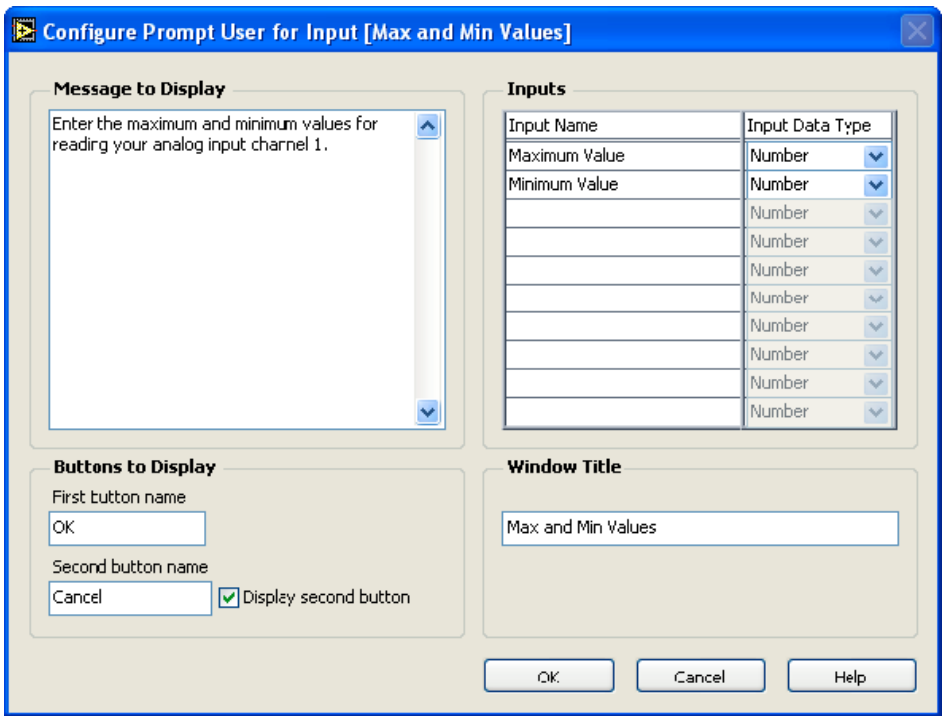
Существуют случаи, когда вам понадобится использовать явный переход между задачами в модели состояния задачи. В данном упражнении вы рассмотрите наиболее общий случай, когда это используется, – необходим ввод, чтобы пользователь мог создать виртуальные каналы.

Блок-диаграмма

1. Откройте новый ВП и постройте следующую блок-диаграмму:



a. Поместите экспресс-ВП Prompt User for Input, расположенный в палитре **Functions»Input**, на блок-диаграмму. Этот ВП создает диалоговое окно, отображающее произвольное сообщение, которое приглашает пользователя к вводу данных. В появившемся диалоговом окне настройки **Configure Prompt User for Input**, используйте опции, как показано на следующем рисунке.



b. Поместите ВП DAQmx Create Virtual Channel, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП создает новый виртуальный канал. Из выпадающего меню конфигуратора этого ВП выберите **Analog Input»Voltage**. Щелкните правой кнопкой мыши на вводе **physical channel** и выберите **Create»Constant** из контекстного меню. Для константы выберите `Dev X/ai1`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства.

c. Поместите ВП DAQmx Control Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП изменяет состояние задачи, основываясь на заданном действии **action**. Щелкните правой кнопкой мыши на вводе **action** и выберите **Create»Constant** из контекстного меню. Из выпадающего меню выберите **verify** для перевода задачи в проверенное состояние, если все настройки конфигурации правильны.

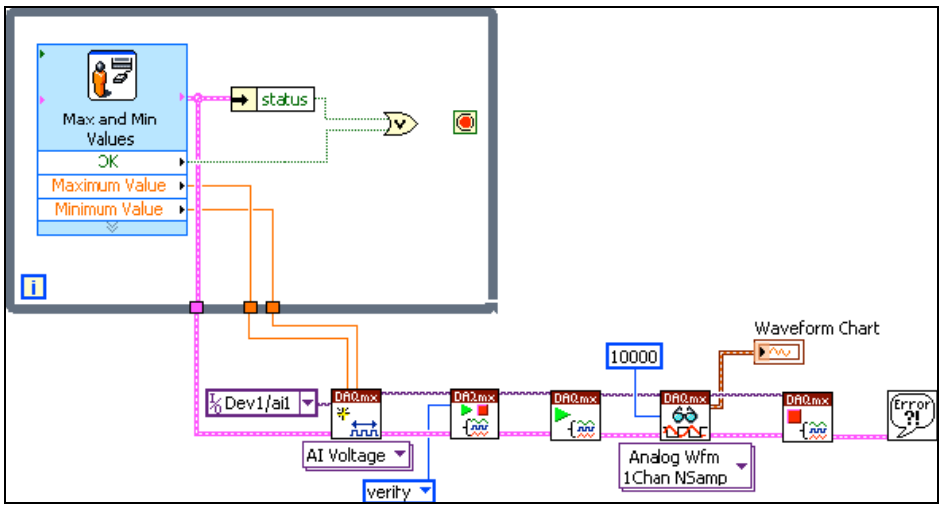
d. Поместите ВП Simple Error Handler, расположенный в палитре **Functions»All Functions»Time & Dialog**, на блок-диаграмму.

2. Запустите ВП. Возникнет диалоговое окно, приглашающее вас ввести максимальное и минимальное значения для канала. Введите `5` в качестве максимального и `10` в качестве минимального значения. Нажмите кнопку **OK**.

3. Должно возникнуть диалоговое окно, сообщающее об ошибочном введении максимального и минимального значений. Задача не была успешно переведена в проверенное состояние.

4. Запустите ВП и введите уместные величины для максимального и минимального значений. Не должно появиться никакого окна с сообщением об ошибке.

5. Завершите построение следующей блок-диаграммы.



6. Подайте синусоидальный сигнал на аналоговый ввод 1 на испытательной коробке.

7. Запустите ВП.

8. Можете выполнить следующие необязательные действия или закройте ВП.

Необязательно

9. Используя навыки, полученные в течение данного курса, модифицируйте блок-диаграмму для настроек опций тактирования или триггера, необходимых для правильного воспроизведения сигнала.

10. Запустите ВП.

11. Сохраните ВП с именем `Explicit Transitions.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

12. Закройте ВП.

Конец упражнения 10-1

B. Синхронизация внутри устройства сбора данных

Во многих приложениях требуется одновременное выполнение нескольких типов измерений. Синхронные измерения вовлекают различные одновременно происходящие операции, такие как получение данных во входных каналах с одновременной генерацией сигналов в выходных. Однако эти операции не должны быть строго коррелированны между собой. Например, вы можете запустить операцию аналогового ввода одновременно с запуском генерации сигнала, но с этого момента каждая операция может выполняться независимо со своей частотой.

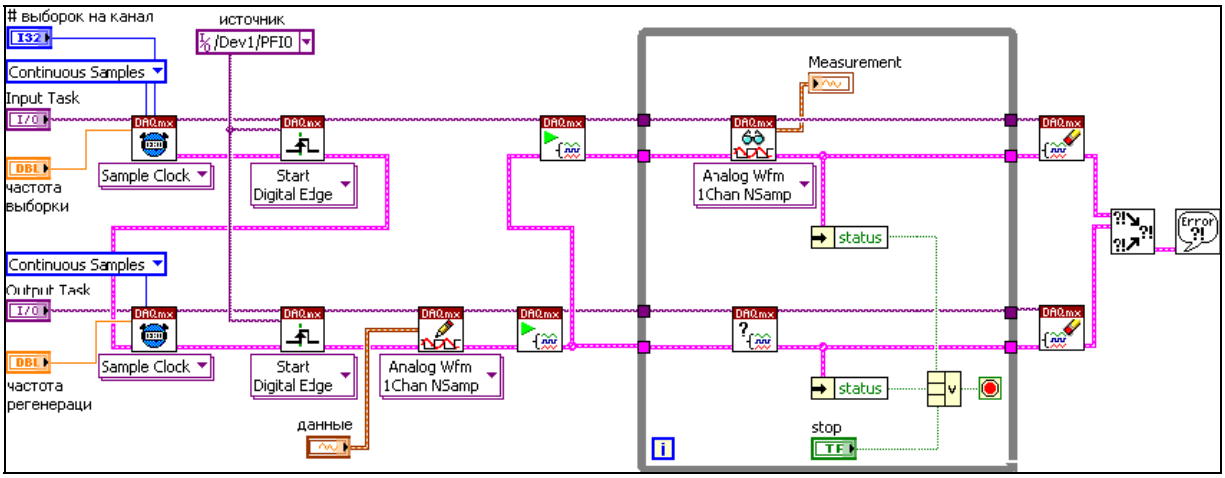
Синхронными называются измерения, происходящие в один момент времени. При синхронных измерениях, например, получении ста значений температуры и скорости, вам необходимо запустить все измерения одновременно. Кроме этого, измерения должны совместно использовать общий тактовый генератор для фиксации данных.

Например, в циклически выполняемых приложениях, необходимо в начале цикла совершить несколько измерений, произвести вычисление на основе полученных данных и затем вывести данные, основываясь на этом вычислении. Такие приложения требуют одновременного запуска всех измерений и их дальнейшей синхронизации посредством общего тактового сигнала. Похожим образом, если вы хотите соотнести измерения, например, графиков скорости и температуры тормозной колодки от времени, то, прежде всего, необходимо синхронизировать между собой измерения скорости и температуры.

Одновременный запуск измерений

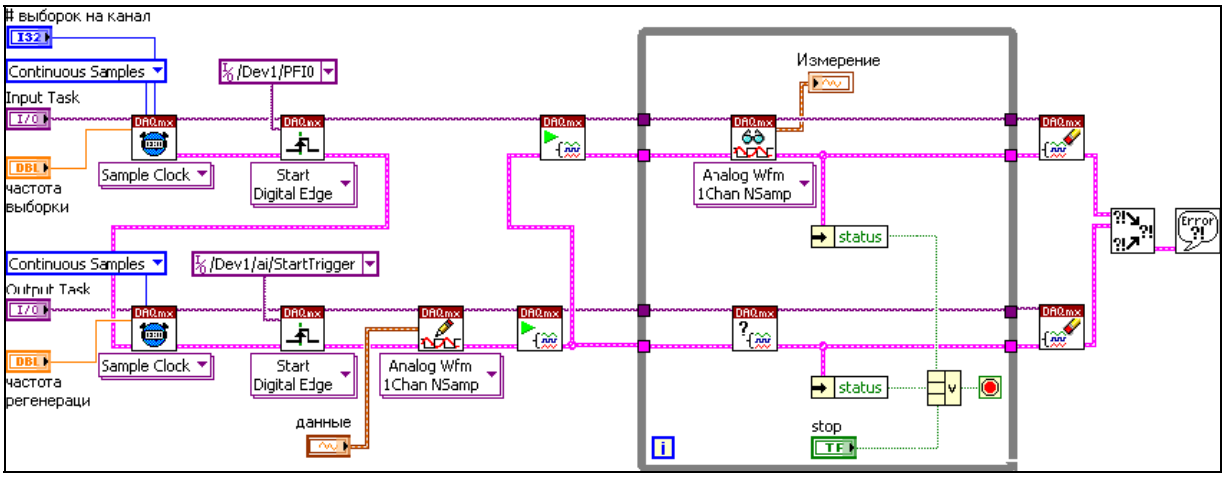
Для одновременного запуска операций аналогового ввода и вывода инициируйте их с помощью аппаратного или программного триггеров. При использовании аппаратного триггера операции аналогового ввода и вывода запускаются сигналом с одного и того же контакта PFI или RTSI. Большую информацию об RTSI можно найти в параграфе *Перенаправление сигналов и RTSI* данного раздела.

Следующая блок-диаграмма демонстрирует выполнение операции с данным типом триггера.



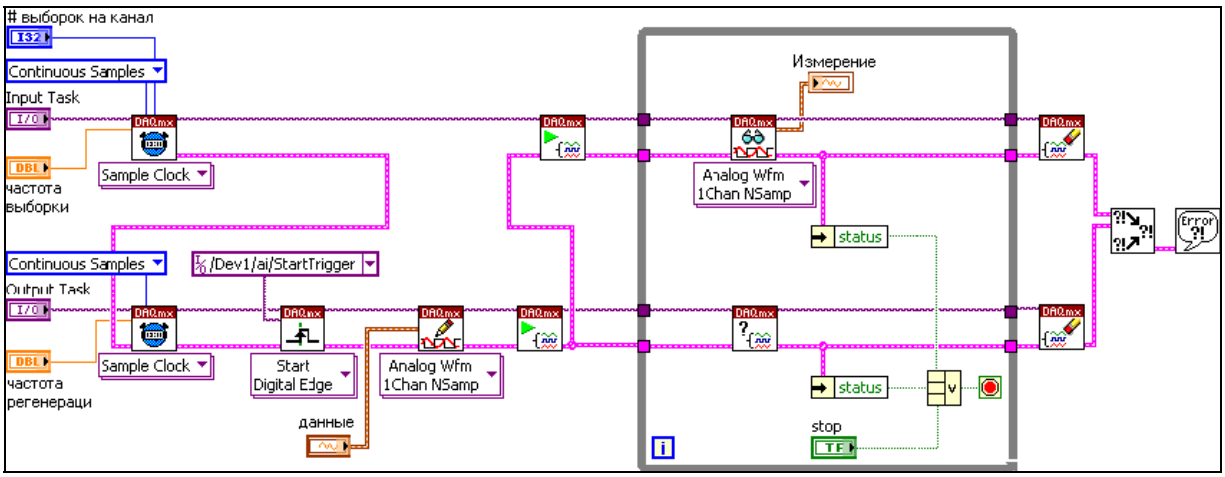
При использовании программного триггера операция аналогового ввода запускается внешним сигналом на контакте PFI или RTSI, а операция аналогового вывода

запускается внутренним сигналом AI Start Trigger. AI Start Trigger – внутренний сигнал, который подается по внутренней линии, соединяющей подсистемы аналогового ввода и вывода. Метод программного триггера чуть более точен, чем метод аппаратного триггера, поскольку внешний сигнал должен пройти только по одной главной линии, чтобы достичь обеих подсистем. Однако эта задержка, как правило, несущественна на частотах, с которыми работают многофункциональные устройства семейства MIO. Следующая блок-диаграмма иллюстрирует данную методику.



В этом примере операции настроены таким образом, что аналоговый ввод инициируется триггером запуска на контакте PFI0, настроенным с помощью ВП DAQmx Trigger. Аналоговый вывод использует ВП DAQmx Trigger для запуска по внутреннему триггеру AI Start Trigger. Обратите внимание, что операция аналогового вывода должна быть начата ранее операции аналогового ввода, чтобы не возникло такой ситуации, что ввод начался и был отправлен внутренний сигнал AI Start Trigger, а операция аналогового вывода еще не была готова получить сигнал запуска.

Другой пример одновременного запуска с использованием программного триггера: аналоговый ввод запускается вызовом программы, а не аппаратным триггером. Аналоговый вывод, как и в предыдущем случае, запускается внутренним сигналом AI Start Trigger. Следующая диаграмма иллюстрирует пример приложения с полностью программно запускаемыми операциями ввода/вывода.



Если операции были запущены одновременно, в дальнейшем они не будут обязательно синхронизированы. Операции ввода и вывода могут быть настроены на сбор/генерацию данных с независимыми друг от друга частотами.

Упражнение 10-2. Операции аналогового ввода и вывода с одновременным запуском

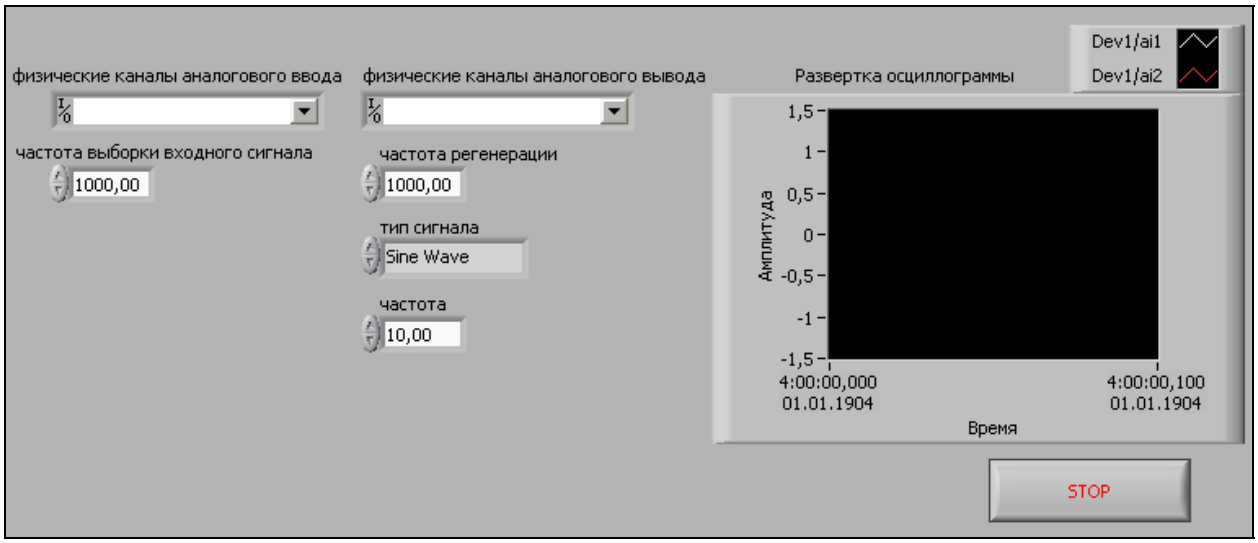
Задача: Использовать два различных метода для одновременного запуска операций аналогового ввода и вывода.

В первом методе данного упражнения для запуска операции аналогового ввода используется аппаратный триггер, во втором – программный. Оба метода используют ВП DAQmx Timing для запуска аналогового вывода внутренним сигналом AI Start Trigger.

Метод I – с аппаратным запуском

Лицевая панель

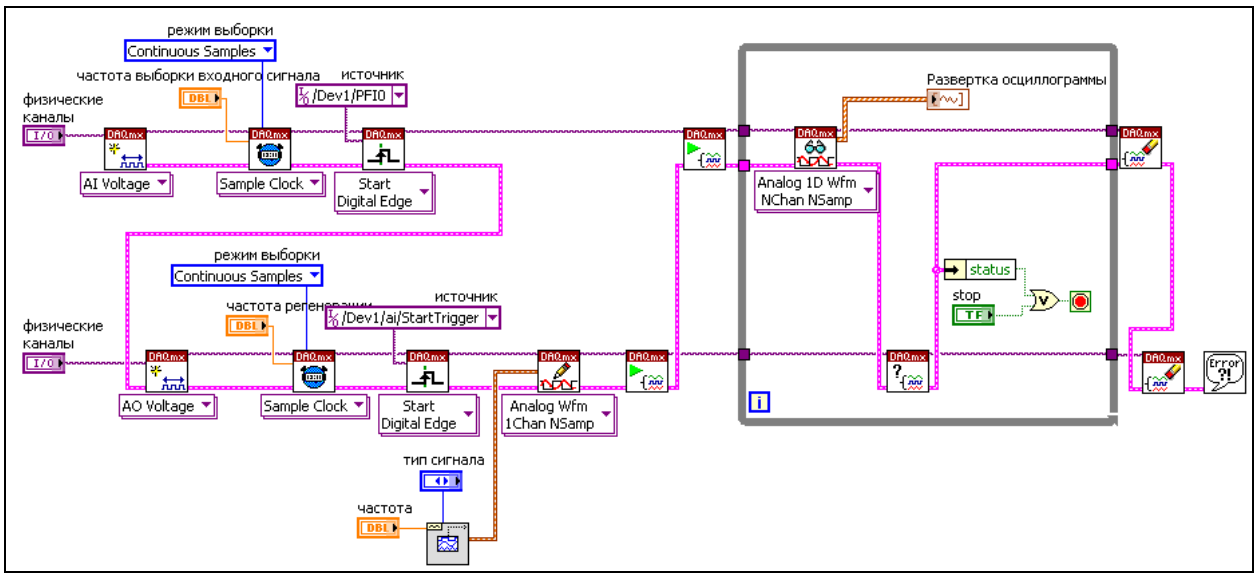
1. Откройте новый ВП и постройте следующую лицевую панель.



Не создавайте элемент управления **тип сигнала** на лицевой панели. Этот элемент будет создан с блок-диаграммы.

Блок-диаграмма

2. Постройте следующую блок-диаграмму.



a. Поместите ВП DAQmx Create Virtual Channel, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП создает новый виртуальный канал. Используйте два таких виртуальных прибора. Из выпадающего меню конфигуратора первого ВП выберите **Analog Input»Voltage**. Из выпадающего меню конфигуратора второго ВП выберите **Analog Output»Voltage**.

b. Поместите ВП DAQmx Timing, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП устанавливает тактирование задачи. Используйте два таких ВП. В обоих случаях установите для ввода **sample mode** константу **Continuous**.

c. Поместите ВП DAQmx Trigger, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП настраивает триггер для задачи. Для задачи аналогового ввода установите в качестве **источника** `/Dev X/PFI0`. Для задачи аналогового вывода установите для **источника** значение `/Dev X/ai/ StartTrigger`. Где `X` соответствует в обоих случаях номеру вашего DAQ устройства.

d. Поместите ВП Basic Function Generator, расположенный в палитре **Functions»All Functions»Waveform»Analog Waveform»Waveform Generation**, на блок-диаграмму. Этот ВП создает осциллограмму такого типа, который вы зададите на вводе **signal type**. Щелкните правой кнопкой мыши на вводе **signal type** и выберите **Create»Control** из контекстного меню.

e. Поместите ВП DAQmx Write, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Выберите опции **Analog»Single Channel»Multiple Samples»Waveform** из выпадающего меню конфигуратора этого ВП.

f. Поместите ВП DAQmx Start Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП запускает задачу.

g. Поместите ВП DAQmx Read, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Выберите опции **Analog»MultipleChannels»Multiple Samples»Waveform** из выпадающего меню конфигуратора этого ВП.

h. Поместите ВП DAQmx Is Task Done, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition»DAQmx Advanced Task Options**, на блок-диаграмму. Этот ВП запрашивает статус задачи и возвращает логическое значение, по завершении выполнения задачи.

Используйте этот ВП для опроса задачи аналогового вывода на предмет возникновения каких-либо ошибок.

i. Поместите ВП DAQmx Clear Task, расположенный в палитре **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition**, на блок-диаграмму. Этот ВП останавливает задачу и освобождает все выделенные ресурсы.

j. Поместите функцию Unbundle by Name, расположенную в палитре **Functions»All Functions»Cluster**, на блок-диаграмму.

k. Поместите функцию Or, расположенную в палитре **Functions»Arithmetic & Comparison»Boolean**, на блок-диаграмму.

l. Поместите ВП Simple Error Handler, расположенный в палитре **Functions»All Functions»Time & Dialog**, на блок-диаграмму.

3. Сохраните ВП с именем `Simultaneous AI AO Start - HW.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

4. На испытательной коробке присоедините аналоговый выход 0 к аналоговому вводу 1. Присоедините синусоидальный сигнал с выхода функционального генератора на аналоговый ввод 2.

5. На лицевой панели установите следующие значения для элементов управления.

- **Физические каналы аналогового ввода**: `Dev X/ai1:2`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства
- **Частота выборки входного сигнала**: `1000`
- **Физические каналы аналогового вывода**: `Dev X/ao0`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства
- **Частота регенерации**: `1000`
- **тип сигнала**: `Sine Wave`
- **Частота**: `100`

6. Запустите ВП. операций.

7. Остановите ВП.

8. Измените развертку осциллограммы, чтобы отобразить данные в более приветливой форме.

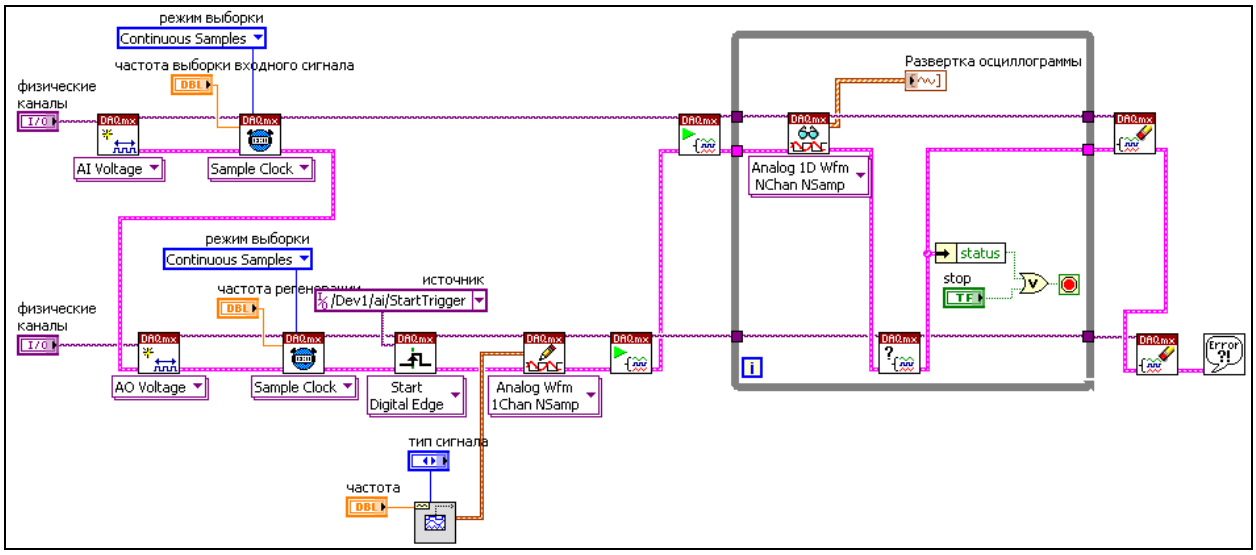
9. Выберите другой **тип сигнала**. Запустите ВП. Нажмите кнопку цифрового триггера на испытательной коробке для запуска измерения.

10. Остановите ВП, но не закрывайте его.

Метод II – с программным запуском

1. Выберите **File»Save As** и сохраните ВП из первого метода под именем `Simultaneous AI AO Start - SW.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

2. Измените блок-диаграмму как показано на следующем рисунке.



Уберите ВП DAQmx Trigger из задачи аналогового ввода. Вместо использования аппаратного триггера для начала ввода, измерение начнется, когда вы нажмете кнопку Run. Аналоговый вывод, как и прежде, будет запускаться при начале аналогового ввода.

3. На испытательной коробке присоедините аналоговый выход 0 к аналоговому вводу 1. Присоедините синусоидальный сигнал с выхода функционального генератора на аналоговый ввод 2.

4. На лицевой панели установите следующие значения для элементов управления.

- **Физические каналы аналогового ввода**: `Dev X/ai1:2`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства
- **Частота выборки входного сигнала**: `1000`
- **Физические каналы аналогового вывода**: `Dev X/ao0`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства
- **Частота регенерации**: `1000`
- **тип сигнала**: `Sine Wave`
- **Частота**: `100`

5. Запустите ВП.

6. Остановите ВП и выберите другой тип сигнала **тип сигнала**. Запустите ВП.

7. Остановите ВП. Сохраните и закройте все ВП.

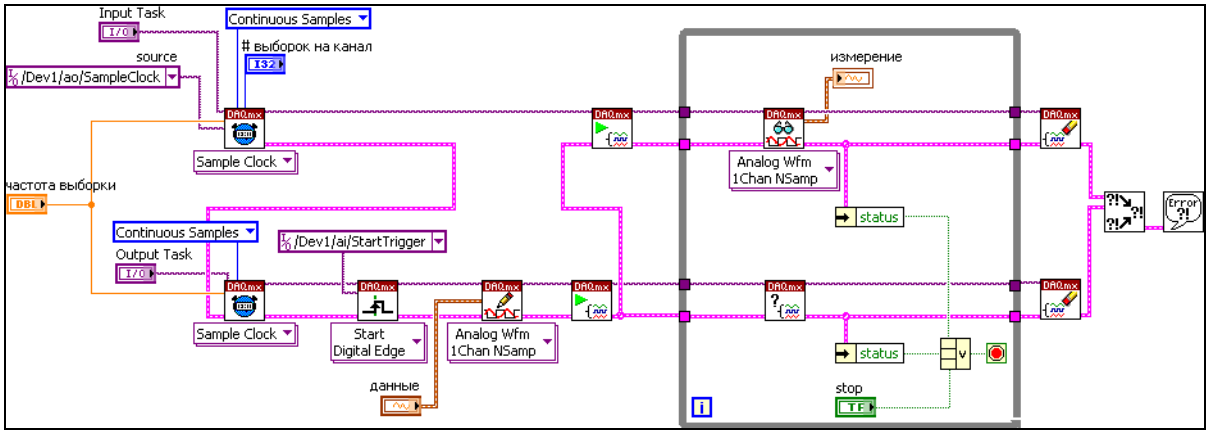
Конец упражнения 10-2

Синхронизированные измерения

Когда вы хотите полностью синхронизовать операции аналогового ввода и вывода так, чтобы каждая выборка из входного канала происходила одновременно с регенерацией выборки из выходного канала, операции должны использовать общий источник тактовых импульсов. Как и в случае одновременного запуска операций, существуют два метода синхронизации.

В первом методе используется внутренний сигнал AI Start Trigger для запуска аналогового вывода одновременно с аналоговым вводом. В отличие от случая с одновременным запуском теперь мы устанавливаем генераторы выборок для ввода и вывода на одинаковую частоту, что приведет к синхронизации операций в пределах одного устройства. Генераторы выборок для обеих операций тактируются генератором временной развертки в устройстве. Поскольку оба генератора являются производными от одной и той же временной развертки и запускаются в один момент времени, они будут синхронизированы. Но так как подсистемы аналогового ввода и вывода имеют собственные схемы делителей частоты для получения собственных генераторов выборки, то между генераторами будет существовать небольшая разность фаз. Однако эта разность фаз несущественна на тех частотах, с которыми работают устройства E-серии.

Другой метод синхронизации аналогового ввода и вывода заключается в использовании обеими операциями какого-либо одного генератора выборки – ввода или вывода. Следующая диаграмма демонстрирует способ синхронизации аналогового ввода и вывода при совместном использовании генератора выборок аналогового вывода.



Для выполнения синхронизированных операций аналогового ввода и вывода с использованием аппаратного триггера запуска, примените одну их показанных выше методик, и просто добавьте аппаратный триггер запуска к ведущей операции, которой во всех предыдущих примерах была операция аналогового ввода.

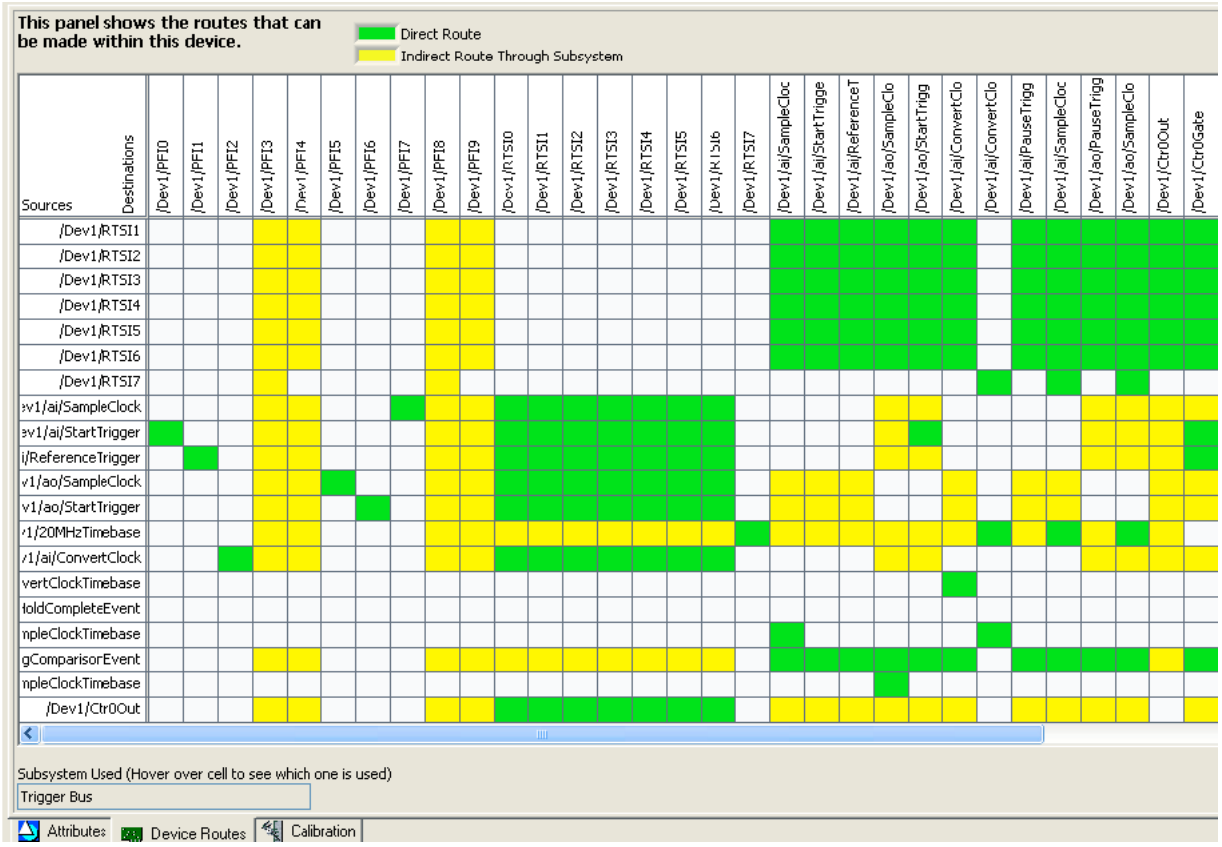
Перенаправление сигналов и RTSI

Между подсистемами устройства существуют некоторые внутренние линии, которые позволяют передавать определенные сигналы между этими подсистемами. Мы уже видели ранее, как внутренний сигнал AI Start Trigger можно непосредственно подать на подсистемы аналогового ввода и вывода в устройствах E-серии. Другие примеры подобного типа сигналов, – это выход счетчика 0, который может быть перенаправлен на: тактовый генератор аналогового ввода AI Sample Clock, триггер запуска аналогового ввода AI Start Trigger, или опорный триггер аналогового ввода AI Reference Trigger.

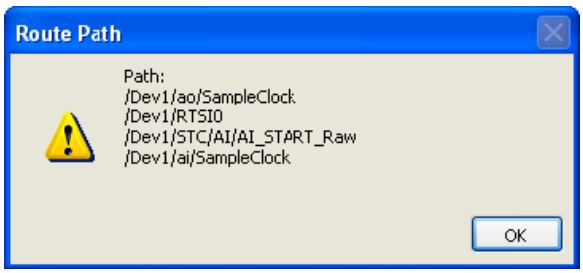
Выход счетчика 1 можно непосредственно перенаправить на тактовый генератор аналогового вывода AO Sample Clock. Полный список перенаправляемых сигналов можно найти в справке к NI-DAQmx. Все остальные линии перенаправления сигналов создаются снаружи устройства посредством контактов PFI или RTSI.

NI-DAQmx управляет большинством перенаправлений между различными подсистемами. Вместо перенаправления сигнала с выхода тактового генератора аналогового вывода (AO Sample Clock) на контакт PFI для использования в задаче аналогового ввода, NI-DAQmx позволяет просто задать AO Sample Clock в качестве тактового генератора аналогового ввода (AI Sample Clock). При этом перенаправление будет сделано скрытно от ваших глаз.

В разделе **NI-DAQmx Devices** в MAX выберите ваше NI-DAQmx устройство. Таблица перенаправлений во вкладке **Device Routes** покажет перенаправления, доступные в пределах данного устройства, – в прямом и обратном направлениях. Перенаправления, которые могут быть сделаны непосредственно, такие как внутренняя линия, соединяющая выход счетчика 0 с AI Sample Clock, выделены зеленым цветом. Перенаправления между двумя терминалами, которые могут быть осуществлены только посредством RTSI линий или других подсистем, выделены желтым цветом. Когда перенаправление произведено драйвером, то все терминалы, участвующие в перенаправлении, резервируются для этого перенаправления. Удерживая клавишу <Shift> и одновременно щелкая правой кнопкой мыши на желтом или зеленом поле, можно отобразить линию, по которой осуществляется перенаправление. Следующий рисунок показывает часть таблицы перенаправлений для DAQ устройства PCI-MIO-16E-4.



Следующий рисунок показывает линию между AO Sample Clock и AI Sample Clock.



Системная шина взаимодействия в реальном масштабе времени (Real-Time System Integration - RTSI)

RTSI – внутренняя шина синхронизации, используемая для совместного доступа и обмена тактирующими и управляющими сигналами среди нескольких плат сбора данных. Шина представляет собой набор параллельных цифровых линий. Соединительный разъем шины обычно расположен в верхней части DAQ устройства. Преимущество RTSI состоит в том, что она позволяет программно управлять передачей цифровых сигналов для использования их в триггерах, тактовых генераторах и т.д. нескольких DAQ устройств или модулей PXI. В приложениях с синхронизацией шину RTSI можно использовать, чтобы позволить одной плате генерировать тактовый сигнал и сигнал запуска и передать их посредством шины в другие устройства.

Для регистрации RTSI кабеля в MAX щелкните правой кнопкой мыши на разделе **NI-DAQmx Devices**, выберите из контекстного меню **Create New NI-DAQmx Device**, и далее выберите **RTSI Cable**. RTSI кабель должен появиться внизу списка ваших NI-DAQmx устройств. Щелкните правой кнопкой мыши на опции RTSI cable и добавьте устройства, к которым он присоединен.

Упражнение 10-3. Настройка RTSI

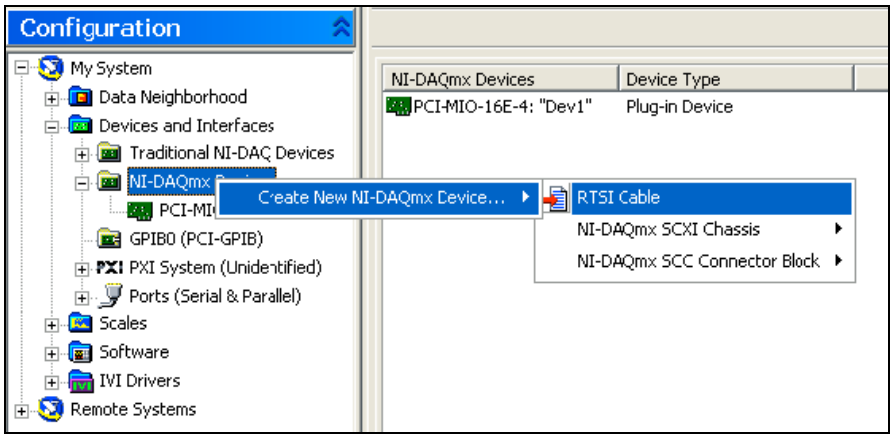
Задача: Настроить RTSI кабель в MAX.

RTSI кабель наиболее часто используется для передачи сигналов из одного DAQ устройства в другое. Позже на этом занятии вы более подробно изучите синхронизацию нескольких устройств. Однако некоторые сигналы требуют, чтобы RTSI кабель был сконфигурирован и назначен устройству для их передачи в пределах одного DAQ устройства. Два из таких сигналов – это сигналы тактовых генераторов выборок аналогового вывода (AO Sample Clock) и аналогового ввода (AI Sample Clock), которые мы будем использовать в упражнении 10-4 для синхронизации задач аналогового ввода и вывода. При подготовке к этому упражнению вы должны вначале сконфигурировать RTSI кабель в MAX.

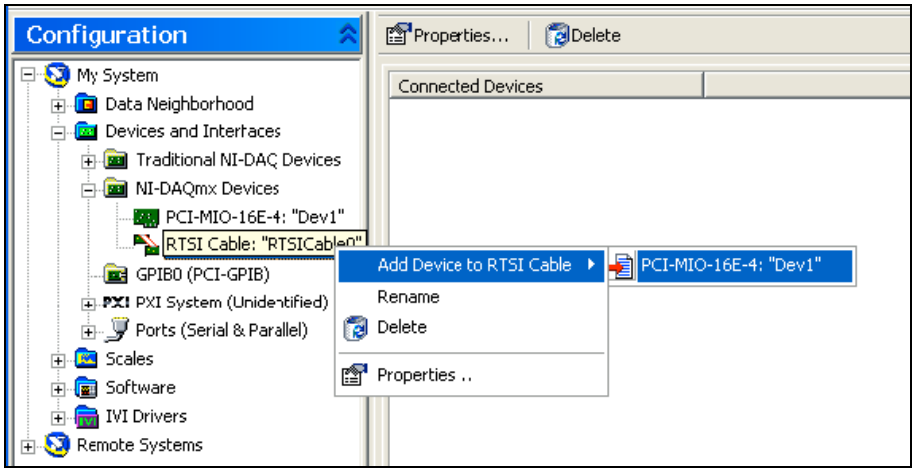
1. Запустите MAX, дважды щелкая на его иконке на рабочем столе или выбирая в LabVIEW **Tools»Measurement & Automation Explorer**.

2. В разделе Devices and Interfaces щелкните правой кнопкой мыши на разделе **NI-DAQmx Devices**.

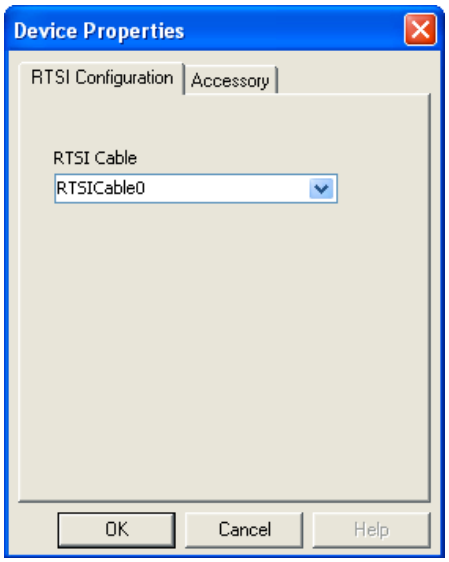
3. Выберите из контекстного меню **Create New NI-DAQmx Device»RTSI Cable**.



4. RTSI кабель должен появиться после устройств NI-DAQmx и называться **RTSI Cable: “RTSICable0”**. Щелкните правой кнопкой мыши на этой записи и выберите **Add Device to RTSI Cable** из контекстного меню. Выберите ваше DAQ устройство.



Вы также можете щелкнуть правой кнопкой мыши на вашем NI-DAQmx устройстве, выбрать из контекстного меню **Properties** и далее выбрать RTSI кабель во вкладке **RTSI**
Configuration диалогового окна **Device Properties**, как показано на следующем рисунке.



Конец упражнения 10-3

Упражнение 10-4. Синхронизированные операции аналогового ввода и вывода

Задача: Выполнить синхронизированные операции аналогового ввода и вывода, совместно используя тактовый генератор аналогового ввода.

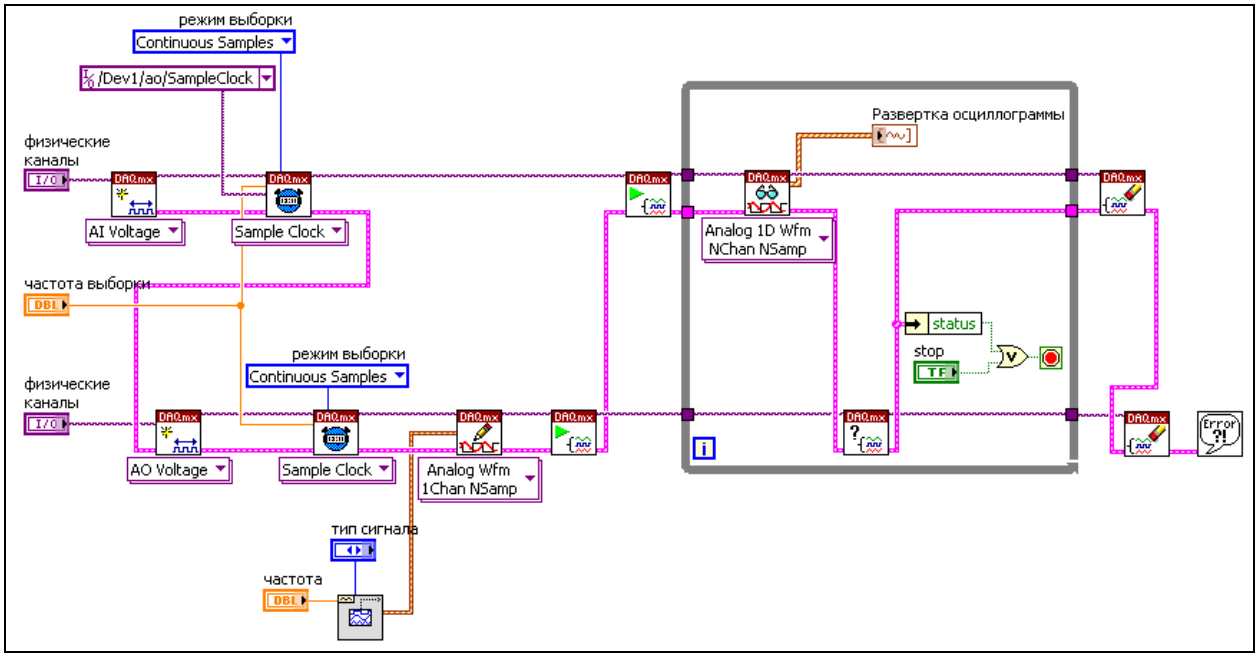
Для синхронной генерации и измерения аналоговых сигналов совместно используйте в задачах аналогового ввода и вывода какой-либо из тактовых генераторов: AO Sample Clock или AI Sample Clock.

1. Откройте ВП Simultaneous AI AO Start – SW, расположенный в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

2. Выберите **File»Save As** и сохраните ВП под именем `Synchronized AI and AO.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

Блок-диаграмма

3. Измените блок-диаграмму как показано на следующем рисунке.



Обратите внимание, что элемент управления **частотой выборки** должен совместно использоваться в задачах аналогового ввода и вывода для синхронизации тактирования между двумя задачами. Кроме этого, установите для входа **источника** тактирования операции аналогового ввода значение `/Dev X/ao/SampleClock`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства.

4. На испытательной коробке присоедините аналоговый выход 0 к аналоговому входу 1. А синусоидальный сигнал с функционального генератора подайте на аналоговый ввод 2.

5. Переключитесь на лицевую панель и для элементов управления введите следующие значения:

- **Физические каналы аналогового ввода**: `Dev X/ai1:2`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства

- **Физические каналы аналогового вывода**: `Dev X/ao0`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства

- **Частота выборки**: `10000`

- **тип сигнала**: `Square Wave`

- **Частота**: `100`

6. Запустите ВП.

7. Остановите ВП. Сохраните и закройте ВП.

Конец упражнения 10-4

Использование внешних счетчиков

Существует ряд приложений, в которых необходимо выполнять операции со счетчиком одновременно с операциями аналогового ввода/вывода. Частыми примерами таких приложений являются использования счетчика в качестве внешнего тактового генератора выборок, или для выполнения аналоговых операций с перезапуском, или для запуска аналоговой операции после возникновения определенного числа триггерных событий, или же для сопоставления измерений числа событий с аналоговыми операциями.

Аналоговый ввод с использованием внешних тактовых импульсов, сгенерированных счетчиком

Счетчик можно использовать для генерации последовательности импульсов, конечной или непрерывной, которые будут выполнять функцию тактовых импульсов для операций аналогового ввода/вывода. Частоту импульсов в последовательности, сгенерированной счетчиком, можно менять «на лету», что позволяет соответственно менять частоту операции аналогового ввода или вывода. Настройте счетчик для непрерывной генерации последовательности импульсов. Установите внутренний выход счетчика в качестве источника тактовых импульсов выборки аналогового ввода сигнала.

Примечание. Частоту тактового генератора операций аналогового вывода (AO Sample Clock) можно изменять «на лету». Поэтому во время выполнения программы нет никакой необходимости использовать счетчик для изменения частоты генерации аналогового сигнала.

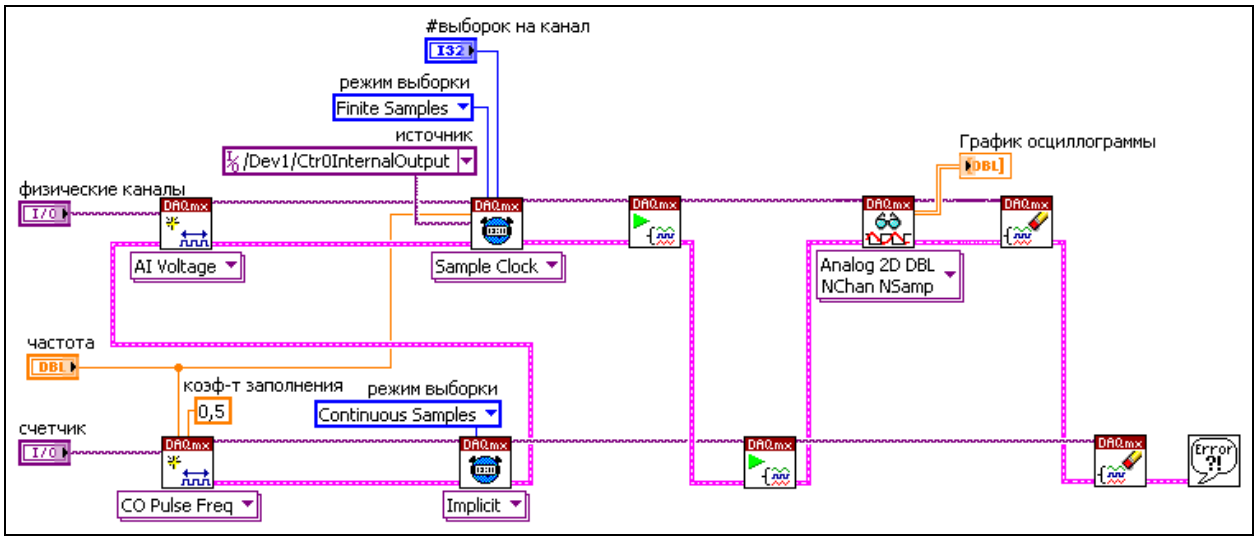
Упражнение 10-5. Аналоговый ввод: использование внешних тактовых импульсов, сгенерированных счетчиком.

Задача: Создать ВП, использующий счетчик для генерации последовательности импульсов, которые, в свою очередь, будут использоваться для тактирования операции аналогового сбора данных.

В данном упражнении счетчик создает последовательность импульсов, которые играют роль тактовых импульсов выборки при аналоговом вводе сигнала. Поскольку частоту импульсов счетчика можно менять «на лету», то во время работы ВП вы можете изменять частоту сбора данных.

Блок-диаграмма

1. Откройте новый ВП и постройте следующую блок-диаграмму.



После создания константы на входе **source** ВП DAQmx Timing, щелкните правой кнопкой мыши на ней и выберите **I/O Name Filtering** из контекстного меню. Выделите опцию **Include Advanced Terminals** и нажмите кнопку **OK** для выхода из диалогового окна **Filter Names**. Эта операция позволит вам выбрать `/Dev X/Ctr0InternalOutput`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства.

2. Сохраните ВП под именем `AI - External Clock from Counter.vi` в директории `C:\Exercises\LabVIEW DAQ`.

3. Подайте синусоидальный сигнал с функционального генератора на аналоговый ввод 1.

4. На лицевой панели установите следующие значения для элементов управления:

- **Физические каналы**: `Dev X/ai1`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства
- **Счетчик**: `Dev X/ctr0`, где `X` соответствует номеру вашего DAQ устройства

- **Частота**: `1000`

- **#выборок на канал**: `200`

5. Запустите ВП.

6. Увеличьте частоту и снова запустите ВП. При этом увеличится число выборок, получаемых каждую секунду.

7. Сохраните и закройте ВП.

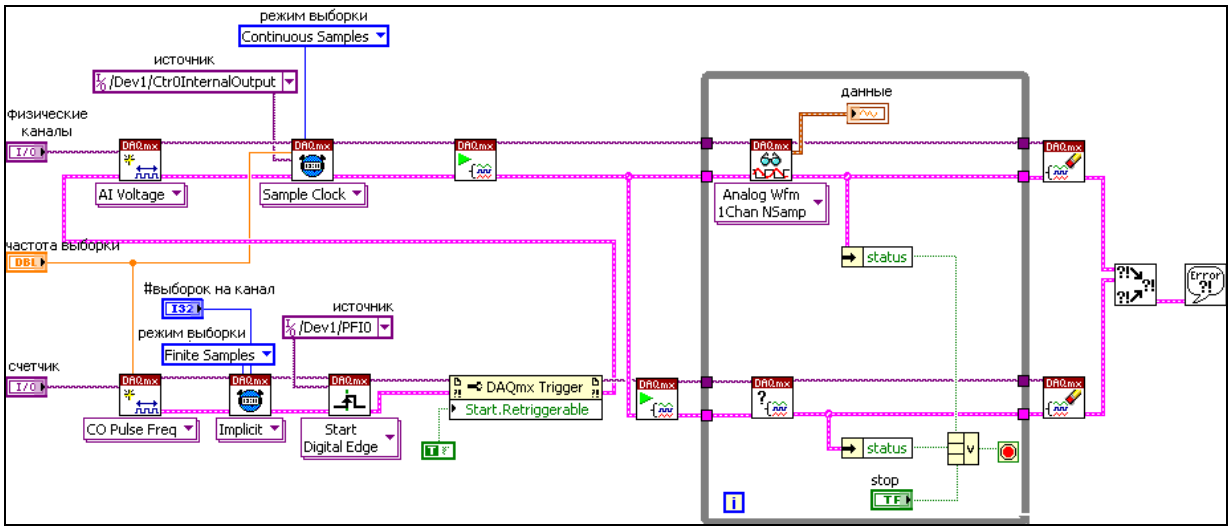
Конец упражнения 10-5

Аналоговые операции с перезапуском

Операции аналогового ввода и вывода не могут перезапускаться аппаратно. Аппаратный перезапуск позволяют выполнять только счетчики. Для программной имитации аналоговой операции с перезапуском настройте задачу таким образом, чтобы она реагировала на триггер, а затем программно перенастройте данную операцию после ее окончания. Перенастройка задачи позволит ей реагировать на следующий триггер. Однако время, требуемое на программную перенастройку данной операции, полностью зависит от системы, и может случиться так, что устройство пропустит следующий триггер, если оно не перенастроится достаточно быстро.

Поскольку операции со счетчиками допускают перезапуск, их можно применить для операций аналогового ввода/вывода с перезапуском. С этой целью используются два счетчика, создающих ограниченную последовательность импульсов с перезапуском, которая затем будет использоваться в качестве тактовых импульсов для операции аналогового ввода. Первый счетчик настроен для создания непрерывной последовательности импульсов, а второй – для генерации импульса перезапуска конечной длительности (как мы уже делали в упражнении 9-5). Этот импульс используется для разрешения или приостановки непрерывной генерации первого счетчика. Следовательно, когда возникает триггер, второй счетчик создает импульс конечной длительности, разрешающий непрерывную генерацию импульсов первому счетчику до тех пор, пока импульс разрешения находится в высоком состоянии.

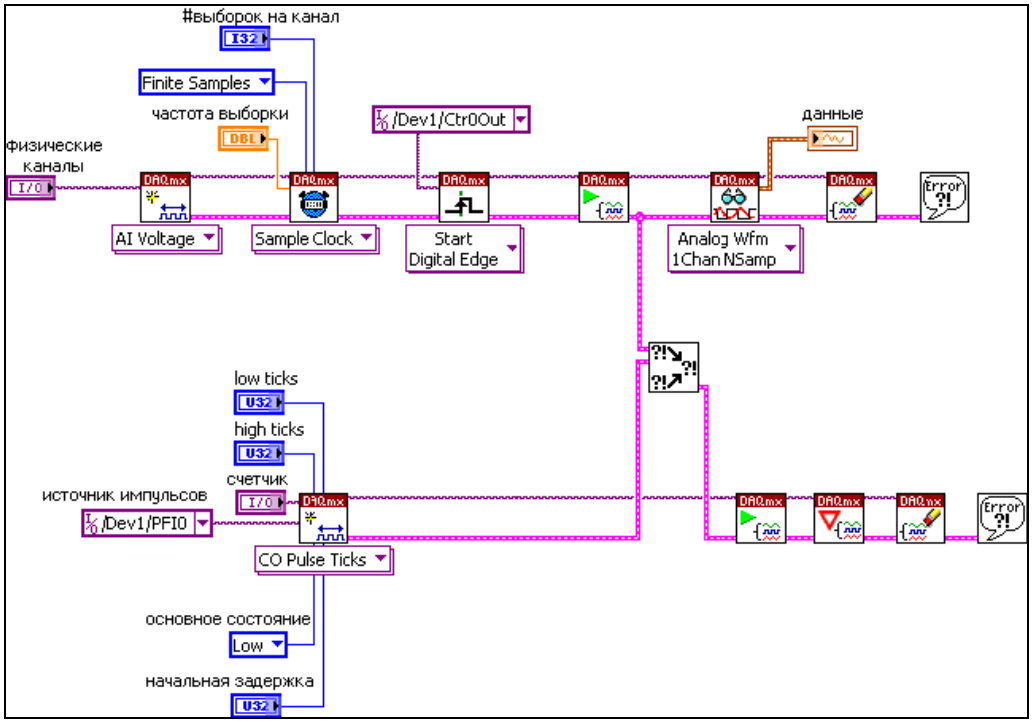
Следующий пример демонстрирует выполнение аналогового сбора данных с перезапуском с использованием счетчиков. Вы не должны явно устанавливать один счетчик для генерации непрерывной последовательности, а второй для генерации импульса конечной длительности с перезапуском. NI-DAQmx сделает эти настройки самостоятельно, когда ваш ВП настроит один счетчик на генерацию импульсной последовательности конечной длительности и будет использовать узел свойств, чтобы обеспечить перезапуск.



Запуск событиями

Существуют случаи, когда вам понадобится пропустить определенное число триггерных импульсов, прежде чем запустить сбор данных или генерацию. Такой тип триггера называют запуск событиями, так как триггер срабатывает после N-ого триггерного события (2 < N < Конечного отсчета). Такие приложения можно создавать,

используя счетчики в составе DAQ плат E-серии производства National Instruments. Следующий пример демонстрирует настройку DAQmx устройства для запуска событиями.



Верхний ряд приборов настраивает генератор выборки и триггер. Нижний настраивает счетчик для деления частоты сигнала, так что он будет выдавать триггерный импульс, когда на его вход поступит N-ый импульс. Обратите внимание на настройку конфигуратора ВП DAQmx Create Virtual Channel – **Counter Output»Pulse Generation»Ticks**. Входы high ticks и low ticks используются для определения N-ого импульса. Источником импульсов (ticks) могут быть линия PFI, внутренняя временная развертка или любой другой подходящий источник сигнала.

Использование тактовых импульсов генератора аналогового ввода или вывода в качестве сигнала разрешения счетчика

Другое распространенное приложение заключается в использовании AI Sample Clock или AO Sample Clock в качестве сигнала разрешения при буферизированном подсчете событий или измерении периода. Чтобы выполнить соответствующую настройку, используйте ВП DAQmx Export Signal для переброски тактовых импульсов генератора аналогового ввода/вывода на PFI линию. Счетчик будет затем использовать эту PFI линию в качестве сигнала разрешения.

C. Синхронизация нескольких устройств сбора данных

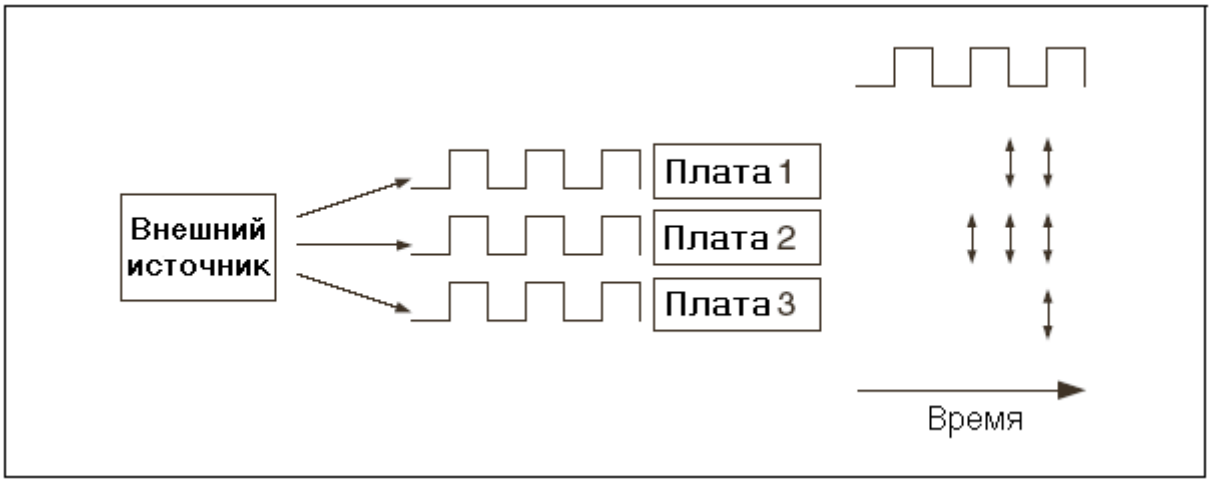
Синхронизация DAQ плат позволяет соотнести измерения, произведенные несколькими платами. В многочисленных приложениях очень сильно задействованы возможности даже отдельной платы по самосинхронизации. Например, совместно используя тактирующие сигналы, аналоговые измерения можно производить совместно со счетчиками, перенаправляя сигнал тактового генератора выборки на счетчик, чтобы он знал моменты времени, когда нужно запомнить величину.

Синхронизация особенно важна в приложениях с большими скоростями выполнения, когда необходимо большое число каналов. Также, когда платы необходимо синхронизировать с внешним устройством, и/или устанавливаются отношения с главным и подчинёнными элементами, когда одна плата управляет тактированием всех остальных плат в измерительной системе.

Существует несколько методов установления синхронизации. Они включают использование внешнего тактового генератора, внутренней тактирующей шины, или схему фазовой автоподстройки (Phase-Lock-Loop). Изучение последнего метода выходит за рамки нашего курса. Однако влияние задержки и неустойчивости становятся существенными критериями при выборе метода синхронизации плат.

Подключение внешних сигналов

Один из методов синхронизации заключается в использовании внешнего тактового генератора, который позволяет синхронизоваться по нему нескольким DAQ платам. В этом методе тактирование плат, получающих внешний сигнал, обладает точностью и стабильностью, обусловленными внешним источником тактовых импульсов.



При использовании данного метода ошибка синхронизации может возникнуть благодаря следующим трем факторам. Это – протяженность тракта прохождения сигнала, тактирование отдельных плат и неустойчивость (jitter). Комбинация этих факторов может привести к тому, что каждая плата обнаружит и среагирует на внешний сигнал в различные моменты времени.

При работе на больших частотах существует ряд причин, делающих данный метод менее идеальным. Тактовый сигнал начнет ухудшаться на частотах примерно 5-10 МГц в

зависимости от типа кабеля, соединяющего источник тактовых импульсов и платы. Кроме этого, существует латентность передачи (transmission latency), которая приведет к ярко выраженным фазовым задержкам на высоких частотах в зависимости от протяженности тракта прохождения сигнала. Эти задержки зависят от емкостных, индуктивных и резистивных свойств кабельной системы. Каждый источник тактовых импульсов вносит в систему джиттер (jitter), который может стать существенным фактором при попытке синхронизировать платы.

Другая проблема использования данного метода возникает при использовании триггера запуска для одновременного начала сбора данных всеми платами измерительной системы. Обычно каждая плата после получения сигнала запуска срабатывает через один - два импульса собственного тактового генератора. Это может вызвать фазовые задержки между платами.

Чтобы исключить фазовые задержки из-за латентности передачи и запуска, используют шину RTSI для передачи сигналов. Шина RTSI снимает ограничения, возникающие при использовании внешних источников сигналов.

Шина RTSI

Как обсуждалось ранее, шина RTSI – высокоскоростная цифровая шина, спроектированная для упрощения интеграции на системном уровне различных устройств компании National Instruments с целью низкоуровневого высокоскоростного взаимодействия в реальном времени. Используя RTSI, вы можете соединить ваше DAQ устройство с устройствами управления движением, получения изображений или цифрового ввода/вывода без задействования центральной шины, такой как PCI. Шина RTSI также содержит встроенную коммутацию, так что вы можете «на лету» программно перенаправлять сигналы с/на шину.

Большинство DAQ устройств компании NI поддерживают шину RTSI. В традиционных встраиваемых DAQ устройствах, таких как PCI устройства E-серии, подключение к RTSI шине происходит посредством RTSI кабеля, который вручную вставляется в RTSI разъем на каждом устройстве. Интерфейс RTSI шины PCI DAQ устройства представляет собой 34-контактный разъем. Синхронизирующие сигналы передаются по кабелю-шлейфу внутри персонального компьютера. Кабель RTSI может соединить в цепочку два, три, четыре или пять устройств. Функциональные возможности RTSI изменяются в зависимости от типа устройства, так что перед началом программирования RTSI посмотрите документацию к вашему устройству.

Шина RTSI имеет восемь линий, которые можно использовать для совместного доступа к тактовым и триггерным сигналам. Контакты с 0 по 6 пользователь может применять для своих сигналов, а контакт 7, RTSI Clock, зарезервирован для прохождения тактирующих сигналов между устройствами. Большую информацию о RTSI кабеле можно найти на сайте `ni.com/catalog`.

При использовании PXI модуля шина RTSI уже встроена в шасси PXI в качестве шины PXI Trigger, имеющий вид J2 разъема на задней объединительной панели шасси. Шина PXI Trigger стандартизирована PXI Systems Alliance и поддерживается большим числом компаний-лидеров в данной области. Таким образом, каждый PXI модуль сбора данных, который вы вставляете в PXI шасси, имеет встроенные подключения синхронизации с другими PXI DAQ модулями того же шасси. Никаких дополнительных кабелей не требуется. Большую информацию об альянсе PXI Systems Alliance можно

найти на сайте `www.pxisa.org`.

Возможность передачи тактирующих сигналов вплоть до частоты 20 МГц, когда наступает ухудшение сигнала, делает пригодной шину RTSI в высокоскоростных приложениях. Однако фазовая задержка из-за латентности передачи и триггеров будет становиться все более существенной с увеличением частоты. Использование схемы фазовой автоподстройки (Phase-Locked-Loop – PLL) позволяет действительно синхронизировать несколько плат. Обсуждение PLL выходит за рамки данного курса.

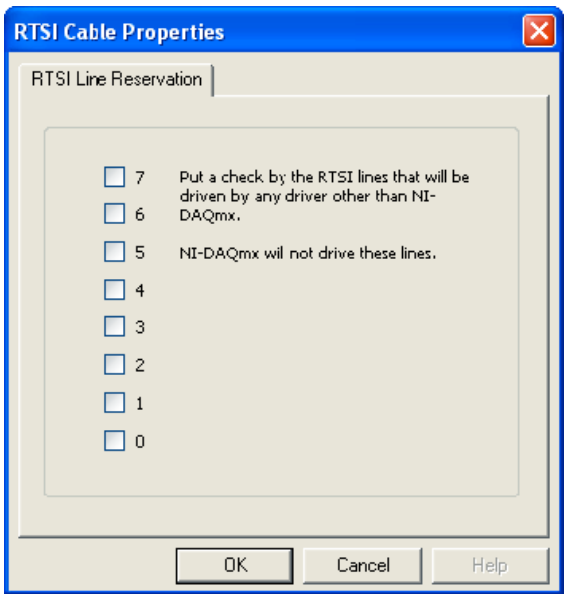
Программирование с использованием RTSI

NI-DAQmx управляет большей частью перенаправлений через шину RTSI. Однако вы должны указать NI-DAQmx, каким образом устройства соединены между собой посредством внутренних шин. В случае PCI систем вы должны зарегистрировать RTSI кабель в MAX, как было сделано в упражнении 10-2. В случае PXI систем вы должны установить тип используемого шасси PXI.

Примечание. Чтобы блокировать управление NI-DAQmx перенаправлением сигналов, вы можете явно перенаправить сигналы на PFI или RTSI линии, используя ВП DAQmx Export Signal.

Если два различных приложения попытаются управлять одной и той же линией RTSI, то может произойти повреждение платы. Так как NI-DAQmx сам управляет перенаправлением RTSI линий, то не всегда известно, какая из RTSI линий свободна для использования. Если другой драйвер, такой как Traditional NI-DAQ driver, в другом приложении будет управлять какой-либо RTSI линией, NI-DAQmx не будет знать об этом событии. Если оба приложения попытаются управлять одной и той же RTSI линией, то, скорее всего, возникнет проблема.

Для предотвращения двойного управления RTSI линией вы можете зарезервировать определенные RTSI линии в MAX. Это предупредит NI-DAQmx от использования этих линий при автоматическом перенаправлении сигналов. Для PCI устройств щелкните правой кнопкой мыши на кабеле, соединяющем эти устройства, и выберите Properties. Появится окно свойств аналогично показанному следующем рисунке.



Выберите RTSI линии, которые не должны использоваться NI-DAQmx. Для PXI устройств в разделе PXI системы выделите определенное шасси (перед этим шасси должно быть идентифицировано) и выберите вкладку **Triggers**.

Для устройств E серии через шину RTSI могут быть перенаправлены следующие сигналы, которые в дальнейшем могут быть используемы несколькими устройствами.

- AI Start or Reference Trigger
- AI Convert Clock
- AI Sample Clock
- AO Sample Clock
- AO Reference Trigger
- GPCTR0 Source, Gate, or Output

Случаи синхронизации нескольких устройств

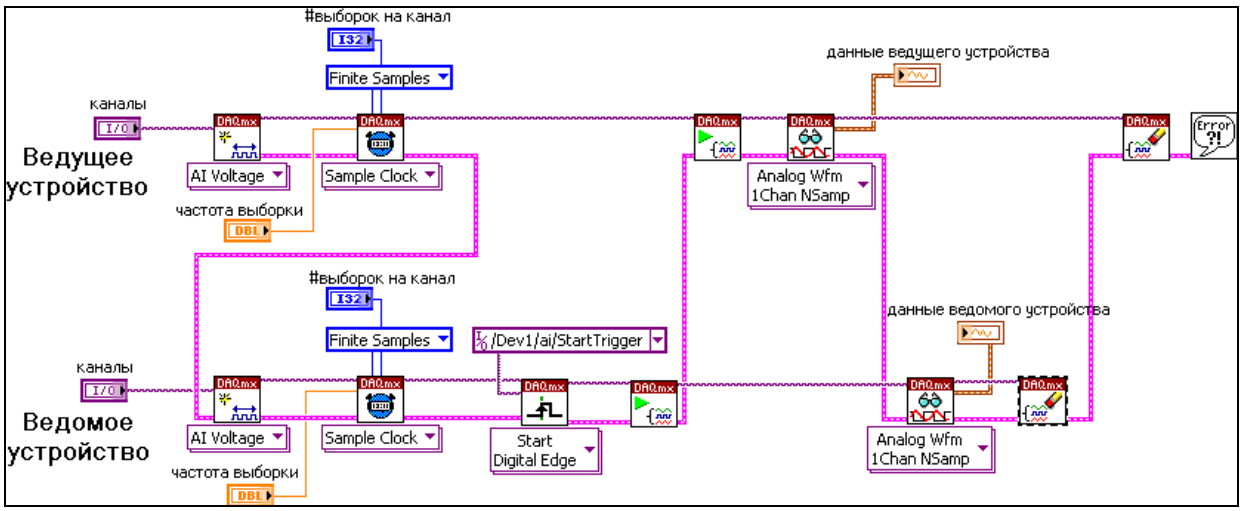
Аналогично отдельным устройствам, существуют некоторые общие случаи синхронных операций нескольких устройств. Среди них: одновременный запуск операций в нескольких устройствах, путем совместного использования триггера запуска, полностью синхронизированные операции нескольких устройств, и запуск аппаратным триггером синхронизированных операций нескольких устройств. При синхронных измерениях сигнал тактового генератора аналогового ввода можно вывести в совместный доступ всем устройствам, участвующим в проекте, чтобы все измерения тактировались одним генератором выборки. Или, один из генераторов устройства может быть разрешен в совместный доступ для синхронизации генераторов всех остальных участвующих устройств.

Одновременный запуск операций аналогового ввода для нескольких устройств

Для одновременного запуска операций аналогового ввода нескольких плат настройте ведущее (master) устройство таким образом, чтобы оно отправило свой внутренний сигнал AI Start Trigger через шину RTSI для запуска всех ведомых устройств, настроенных на цифровой триггер запуска. Ведущее устройство может быть запущено программным вызовом или настроено на запуск собственным триггером запуска.

В отличие от операций с отдельной платой, установка всех генераторов выборок на одну частоту не приведет к синхронизации операций. Генератор выборки каждой платы является производным генератора развертки этой платы, и нет никакой гарантии, что он будет в фазе с генераторами остальных плат.

Следующий пример демонстрирует одновременный запуск операций аналогового ввода для нескольких устройств.



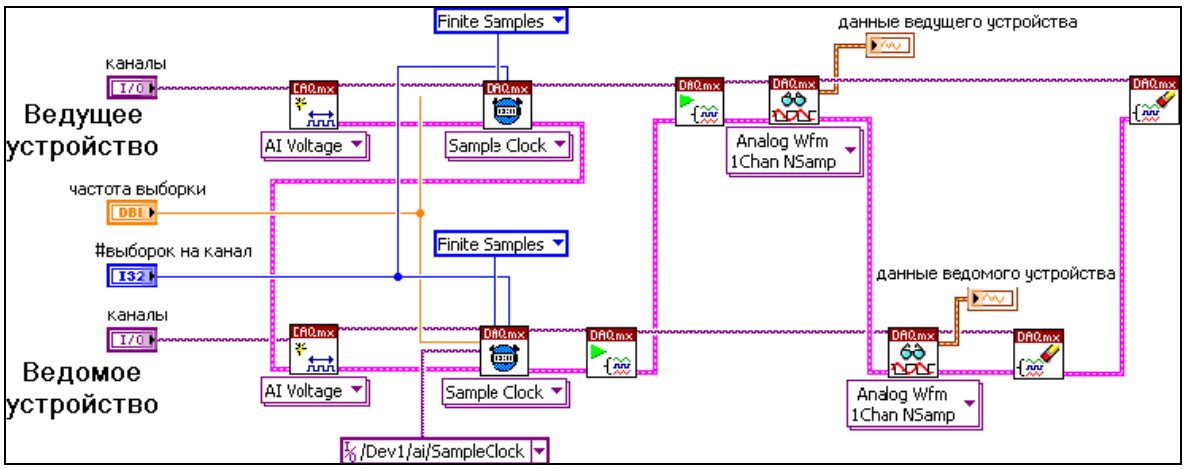
Для запуска одновременно с ведущим устройством ведомое использует сигнал AI Start Trigger ведущего устройства. Обратите внимание, что ведущее устройство не нуждается в явном перенаправлении триггера запуска на RTSI. Это перенаправление производится неявно, когда ведомое устройство использует ВП DAQmx Triggering для собственного запуска по этому сигналу.

Синхронизация нескольких устройств аналогового ввода с помощью совместного использования тактового генератора

Еще один способ синхронизации нескольких устройств аналогового ввода заключается в использовании ведущего тактового генератора выборки для выполнения операций всех устройств. Небольшой задержкой распространения сигнала от ведущего к ведомому из-за перенаправления сигнала по шине RTSI можно пренебречь на частотах, с которыми работают устройства E-серии.

Если сигнал генератора выборки используется совместно несколькими платами, то каждое устройство генерирует свой собственный сигнал преобразования на основе тактовых импульсов собственного генератора. Генераторы устройств, создающие сигнал преобразования, автономны и не синхронизированы друг с другом, поэтому нет никакой гарантии, что они будут в фазе. Таким образом, сигналы преобразования также будут не в фазе. Это становится особенно заметным на высоких частотах выборки.

Пример, приведенный ниже, демонстрирует синхронизацию двух операций аналогового ввода путем совместного использования тактового генератора выборки в NI-DAQmx. Обратите внимание, что ведущее устройство не должно явно перенаправлять свой тактовый сигнал выборки на линию RTSI. Поскольку RTSI кабель сконфигурирован (или PXI шасси идентифицировано), то NI-DAQmx сам произведет перенаправление. Ведомое устройство настроено для использования сигнала AI Sample Clock ведущего устройства при помощи ВП DAQmx Timing. Ведомый должен быть запущен перед ведущим – на примере это видно по линии ошибок.

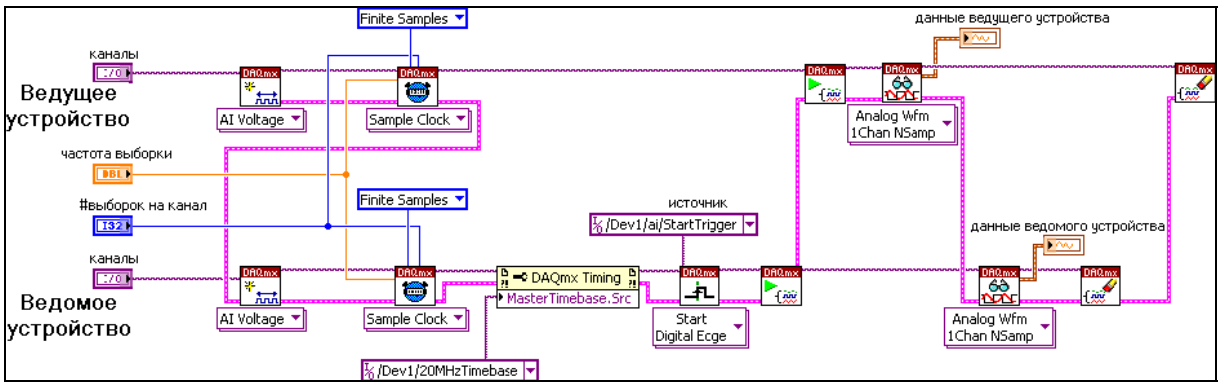


Для полной синхронизации нескольких плат необходимо совместно использовать и сигнал генератора выборки, и сигналы преобразования. Однако наилучший метод заключается в синхронизации всех устройств общей временной разверткой, устанавливающей для всех устройств одинаковую частоту выборки и затем одновременно их запускающей.

Синхронизация нескольких устройств аналогового ввода совместным использованием временной развертки

Чтобы получить действительно синхронные устройства, вы должны, кроме создания общего триггера, синхронизировать их общей временной разверткой. Поскольку платы E-серии не имеют возможности фазовой автоподстройки к общему опорному сигналу тактового генератора, то необходимо использовать линию RTSI clock для передачи общего опорного сигнала тактового генератора всем участвующим устройствам. Для выполнения нескольких операций аналогового ввода, все ведомые устройства должны заменить сигналы их генераторов сигналом тактового генератора ведущего устройства, переданного по линии RTSI 7. Каждое устройство должно выставить одинаковые частоты для своих генераторов выборки, и ведущее устройство должно послать триггер для одновременного запуска всех устройств. Поскольку генераторы выборок всех устройств являются производными общей временной развертки, и все выборки начинаются в один момент времени, все генераторы выборок будут полностью синхронизированы между собой.

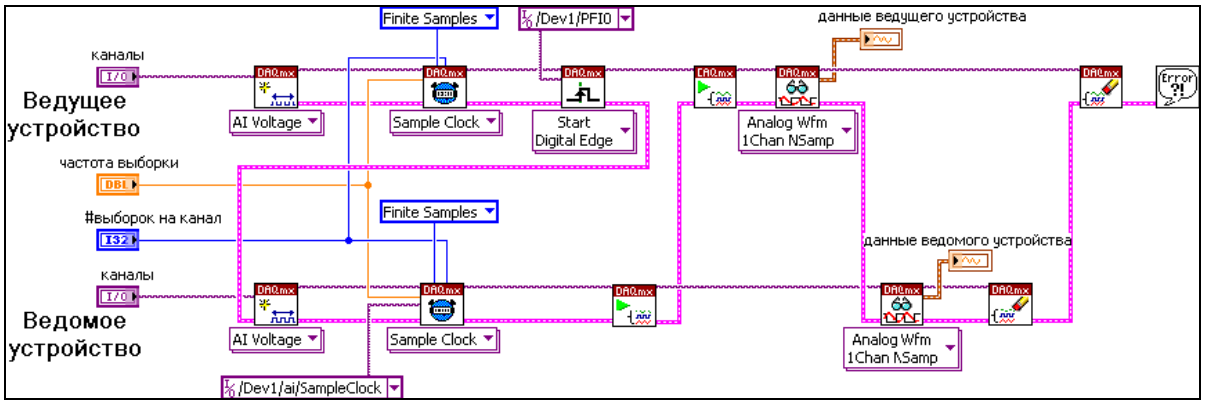
Следующий пример демонстрирует синхронизацию двух устройств, выполняющих операции аналогового ввода, путем совместного использования общей временной развертки и триггера. Для совместного использования временной развертки ведомое устройство использует узел свойств DAQmx Timing property node для замены собственной временной развертки на 20 МГц развертку ведущего устройства. Далее используется ВП DAQmx Trigger для запуска ведомого устройства, когда ведущее устройство генерирует свой внутренний сигнал AI Start Trigger. В данном примере ведущее устройство запускается программным вызовом.



Синхронизация с использованием аппаратного триггера запуска

Синхронизацию нескольких устройств аналогового ввода с использованием аппаратного триггера можно выполнить, настраивая ведущее устройство одним из двух выше указанных методов с аппаратным триггером запуска.

Следующий пример демонстрирует две операции аналогового ввода, синхронизированных общим генератором выборки и запускаемых аппаратным триггером запуска. Ведущее устройство настроено на запуск аппаратным триггером при помощи ВП DAQmx Trigger, а ведомое настроено на использование тактового генератора выборок ведущего устройства.



Синхронизация и режим совместимости

Многие приложения выполняют одновременные операции с устройствами различных семейств. Здесь используются конфигурации, похожие на те, которые мы недавно исследовали. Среди них синхронизация аналогового ввода или вывода устройства семейства MIO с цифровым вводом/выводом, использование счетчика для создания тактовых импульсов для аналоговых или цифровых операций, синхронизация счетчика и другие. Когда не все используемые устройства поддерживаются NI-DAQmx, есть два варианта создания приложений. Вы можете разрабатывать приложение с использованием только драйверов Traditional NI-DAQ или же использовать Traditional NI-DAQ для программирования устройств, не поддерживаемых NI-DAQmx, а для остальных использовать NI-DAQmx. Поскольку Traditional NI-DAQ и NI-DAQmx имеют совершенно разные наборы драйверов и API, их можно использовать в приложениях параллельно, как, например, NI-Motion и NI-IMAQ. Однако вы не сможете одновременно использовать оба драйвера для программирования одного устройства в один момент времени.

Совместное использование двух драйверов называется режимом совместимости (interoperability).

Совместное использование Traditional NI-DAQ и NI-DAQmx

Существующие приложения, разработанные с использованием ранних версий NI-DAQ, будут работать с Traditional NI-DAQ. Однако ранние версии NI-DAQ *не* могут использоваться совместно на одном компьютере с NI-DAQmx. Вы можете совместно использовать Traditional NI-DAQ и NI-DAQmx на одном компьютере, но со следующими ограничениями:

- Только один драйвер может управлять данным устройством в данный момент времени.

- После использования устройства в NI-DAQmx API вы должны снять резервирование всех NI-DAQmx задач, которые использовали данное устройство, прежде чем вы сможете использовать это устройство через Traditional NI-DAQ API. Для снятия резервирования NI-DAQmx задач вызовите ВП DAQmx Stop Task или DAQmx Clear Task.

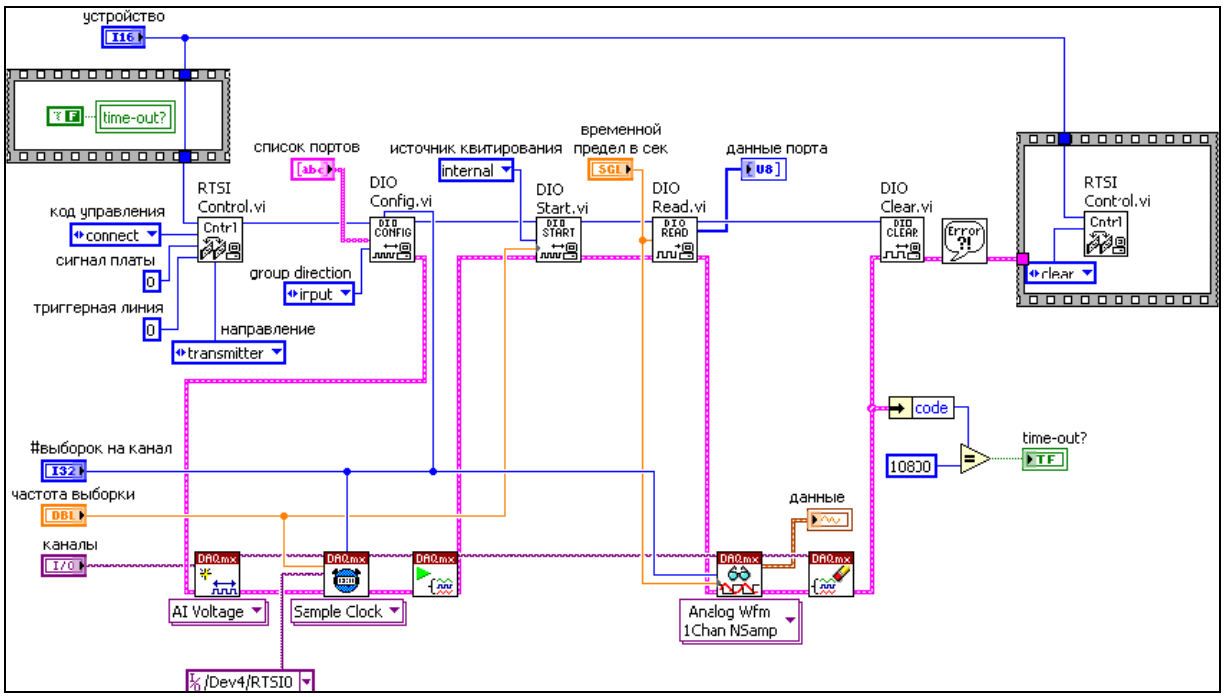
- После использования устройства в Traditional NI-DAQ API вы должны возвратить устройство в исходное состояние, прежде чем вы сможете использовать это устройство через NI-DAQmx API. Для этого вызовите ВП Traditional NI-DAQ Device Reset. В случае устройств SCXI вы должны возвратить в исходное состояние коммуникатор, вызывая ВП Traditional NI-DAQ Device Reset.

- Другой способ возврата устройства в исходное состояние состоит в нажатии правой кнопкой мыши на имени устройства во вкладке Traditional NI-DAQ Devices в MAX и выборе опции **Reset**.

- Для возврата всех устройств в исходное состояние в Traditional NI-DAQ (что откроет доступ к ним в NI-DAQmx) щелкните правой кнопкой мыши на папке Traditional NI-DAQ Devices в MAX и выберите **Reset Driver**.

- В любой момент времени вы должны использовать через один драйвер все устройства SCXI одного шасси или любое шасси из соединенных вместе. Это ограничение обусловлено тем, что все модули SCXI одного шасси или одного набора соединенных вместе шасси программируются при помощи одного коммуникатора SCXI. А это устройство может управляться только через один API в данный момент времени.

Следующий пример демонстрирует синхронизацию аналогового ввода и операции ввода цифрового шаблона с использованием одновременно Traditional NI-DAQ и NI-DAQmx. Устройство NI 653*x* – ведущее. Оно посылает свои тактовые импульсы REQ на плату MIO по линии RTSI 0, используя ВП RTSI Control. Устройство MIO настроено на тактирование внешними тактовыми импульсами в линии RTSI 0, используя ВП DAQmx Timing. Устройство MIO имеет номер 4. Следовательно, для получения тактовых импульсов по шине RTSI ему необходимо подсоединение только к его собственной RTSI линии.

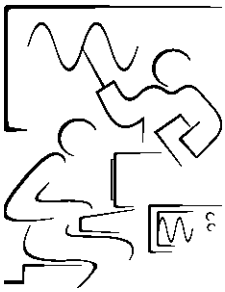


Итоги

- Вы можете одновременно запускать операции, используя ВП AI Start Trigger.
- Вы можете синхронизировать операции, перенаправляя внутренние сигналы.
- Используйте RTSI для передачи сигналов между несколькими устройствами.

Примечания

Приложение



В данном приложении содержатся следующие разделы с информацией, которая будет полезна всем, кто работает с системами сбора данных:

• Теория измерительных преобразователей

• Схемотехника цепей аналогового ввода/вывода

A. Теория измерительных преобразователей

Выбор измерительного преобразователя является первым шагом на пути создания системы сбора данных. От того, каким будет этот преобразователь, будут зависеть и другие компоненты вашей системы. Например, некоторые преобразователи требуют внешних устройств согласования для возбуждения или усиления сигналов, а другим могут понадобиться виртуальные приборы LabVIEW для преобразования значений напряжения в единицы температуры или деформации. Поэтому важно понять принципы работы различных преобразователей и знать их преимущества и ограничения. Ниже кратко обсуждаются наиболее распространенные типы измерительных преобразователей: термопар, терморезисторов, термисторов и тензодатчиков.

Термопары

Одними из наиболее часто применяемых измерительных преобразователей температуры являются термопары (thermocouple). Термопары очень неприхотливы и весьма недороги и, кроме того, могут работать в широком диапазоне температур. Термопары могут измерять температуры в диапазоне нескольких сот градусов и при этом не терять своих свойств, в отличие от, например, полупроводниковых датчиков, которые редко работают при температурах выше 70 °C. Также термопары имеют небольшой размер и могут сравнительно быстро отслеживать изменения температуры.

Термопара образуется, когда соединяют вместе два разнородных металла, при этом точка контакта генерирует небольшое напряжение, являющееся функцией температуры. Это термоэлектрическое напряжение известно как напряжение Зеебека, названное в честь Томаса Зеебека (Thomas Seebeck), открывшего это явление в 1821 году. Напряжение практически линейно при малых изменениях температуры:

$$\Delta V \approx S\Delta T$$

где ΔV – изменение напряжение, S – коэффициент Зеебека, а ΔT – изменение температуры.

Коэффициент S изменяется с температурой, что обуславливает нелинейность выходного напряжения термопар в пределах их рабочих диапазонов, как показано на рисунке A-1. Из-за этого для нахождения значения напряжения при данной температуре необходимо использовать полиномиальную интерполяцию либо справочные таблицы.

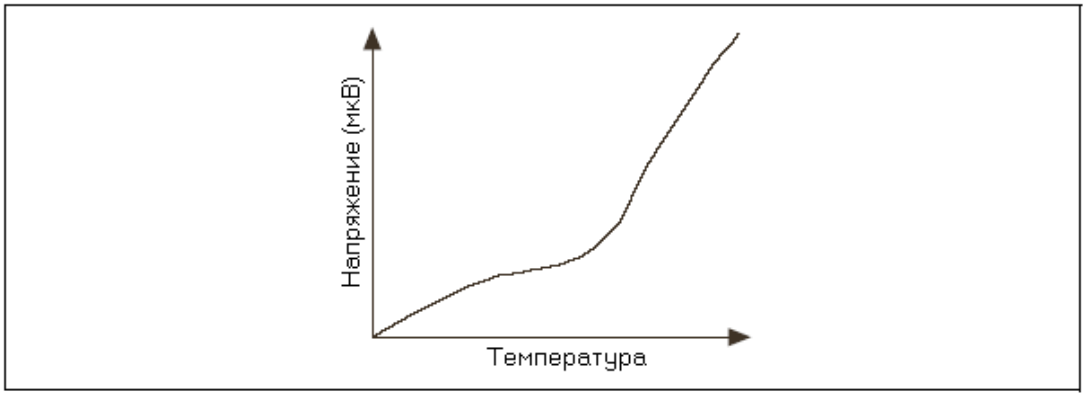


Рисунок А-1. График зависимости напряжения, генерируемого термопарой, от температуры

Существует целый набор различных типов термопар, которые обозначаются заглавными английскими буквами, характеризующими их состав в соответствии со стандартами Национального Института Стандартизации США (ANSI). Например, термопара J-типа состоит из железного и константанового (сплав меди и никеля) проводников.

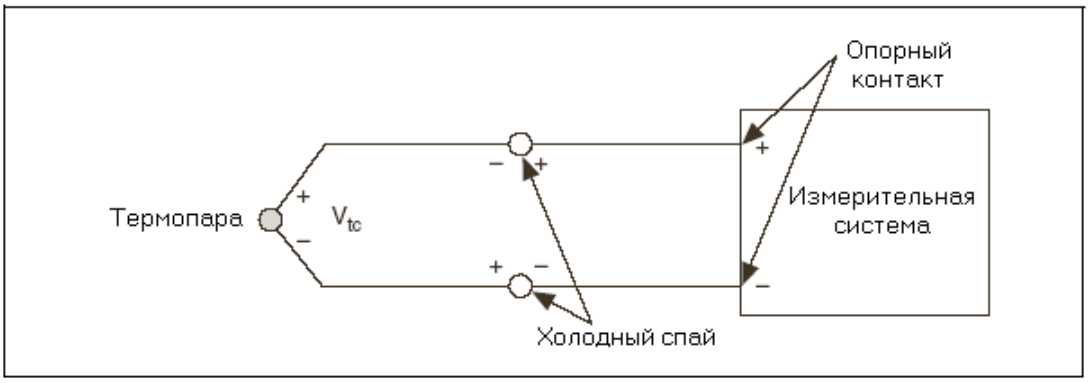


Рисунок А-2. Измерительная система с использованием термопары.

На рисунке А-2 изображена термопара. Точка, в которой термопара присоединяется к измерительной системе, называется опорным контактом. При подключении подводящих проводов к измерительной системе создаются два дополнительных контакта различных металлов, которые называются холодными спаями. Они вносят дополнительное термоэлектрическое напряжение в систему. Метод исключения этого напряжения известен как компенсация холодного спая. Его можно осуществлять программно либо аппаратно. Оба метода требуют измерения температуры опорного контакта с помощью какого-либо датчика.

В таблице А-1 перечислены некоторые наиболее распространенные типы термопар. В таблице указаны оба типа металлов, формирующих термопару. В таблице также указан рабочий диапазон каждой из термопар.

Таблица А-1. Распространенные типы термопар.

Тип термопары	Проводник		Диапазон температур (°C)	Диапазон напряжений (мВ)	Коэффициент Зеебека (мкВ/°C)
	+	–			
E	Хромель	Константан	От -270 до 1000	От –9.835 до 76.358	58.70 при 0 °C
J	Железо	Константан	От -210 до 1200	От –8.096 до 69.536	50.37 при 0 °C
K	Хромель		От -270 до 1372	От –6.548 до 54.874	39.48 при 0 °C
T	Медь	Константан	От -270 до 400	От –6.258 до 20.869	38.74 при 0 °C
S	Платина - 10% Родий	Платина	От -50 до 1768	От –0.236 до 18.698	10.19 при 600 °C
R	Платина - 13% Родий	Платина	От -50 до 1768	От –0.226 до 21.108	10.35 при 600 °C

Особенности термопар:

• Дешевизна и неприхотливость

• Сохраняют свои свойства в широком диапазоне температур

• Могут отслеживать быстрые измерения температуры

• Требуют компенсации холодного спая

• Генерируют небольшие напряжения (7 мкВ – 40 мкВ на градус Цельсия) – необходимо усиление

• Нелинейность выходного напряжения – измеренное напряжение необходимо линеаризовать

Терморезисторы

Терморезистор – устройство, чье сопротивление изменяется с температурой, как показано на рисунке А-3. Терморезисторы изготавливаются из различных материалов и имеют различные диапазоны сопротивлений. Наиболее популярны платиновые терморезисторы с сопротивлением 100 Ом. Как правило, терморезисторы более точны, чем термопары, и не требуют компенсации холодного спая. Однако обычно терморезисторы гораздо дороже, требуют линеаризации своей характеристики для повышения точности, на них может влиять сопротивление подводящих проводов (если они длинные, например).

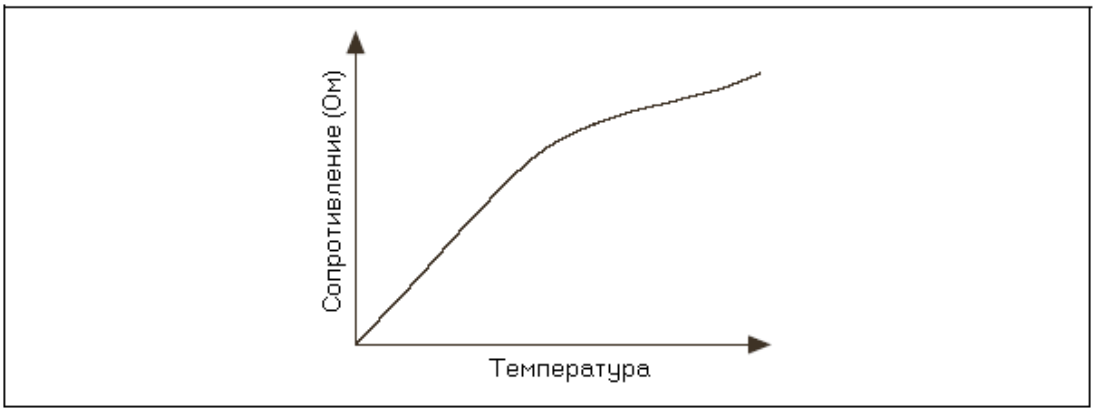


Рисунок А-3. График зависимости сопротивления от температуры терморезистора

Терморезисторы используются в схемах включения с двумя, тремя и четырьмя проводами. Двухпроводной терморезистор наиболее прост, однако не всегда точен из-за сопротивления проводов. В трехпроводном терморезисторе используется дополнительный провод для уравновешивания сопротивления проводов. Четырехпроводной терморезистор (Рисунок А-4) наиболее точен, поскольку он компенсирует любую ошибку, связанную с сопротивлением проводов. Терморезистор похож на тензодатчик, поскольку для своей работы требует возбуждения, которое создает напряжение параллельно самому терморезистору. Возбуждением обычно является источник тока.

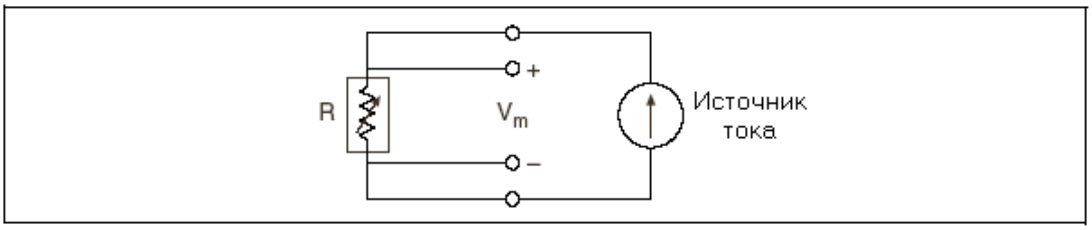


Рисунок А-4. Четырехпроводной терморезистор

В итоге для терморезисторов получаем следующие характеристики:

• Более высокая точность, но и более высокая цена по сравнению с термопарами

• Не требуют компенсации холодного спая

• Требуют возбуждения, например, с помощью устройств согласования сигналов

• Требуют линеаризации напряжения

• Двухпроводная конфигурация – наиболее проста, но не обеспечивает необходимую точность из-за сопротивления подводящих проводов

• Трех и четырех проводные терморезисторы используют дополнительные

провода для уменьшения влияния сопротивления подводящих проводов

Датчик температуры на интегральной схеме (ИС-датчик)

ИС-датчик – измерительный преобразователь температуры, который сделан из полупроводникового материала на основе кремния и который действует, как термочувствительный резистор. ИС-датчику необходим внешний источник питания. Хотя эти датчики имеют линейное выходное напряжение и относительно недороги, время отклика на изменение температуры у них велико и они имеют ограниченный диапазон измерений. ИС-датчики часто используются в качестве датчиков компенсации холодного спая при измерениях термопарами.

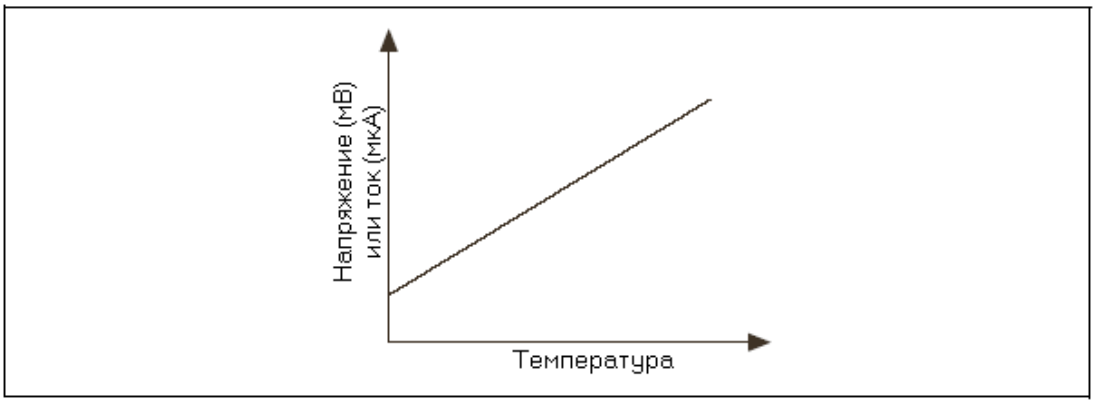


Рисунок А-5. График зависимости сопротивления от температуры ИС-датчика

Термисторы

Термистор – устройство, чье сопротивление изменяется с температурой. Как показано на рисунке А-6, термисторы имеют нелинейную зависимость выходного сопротивления и требуют возбуждения. Поскольку термисторы – устройства с относительно высоким сопротивлением, они не требуют схем включения с тремя или четырьмя проводами.

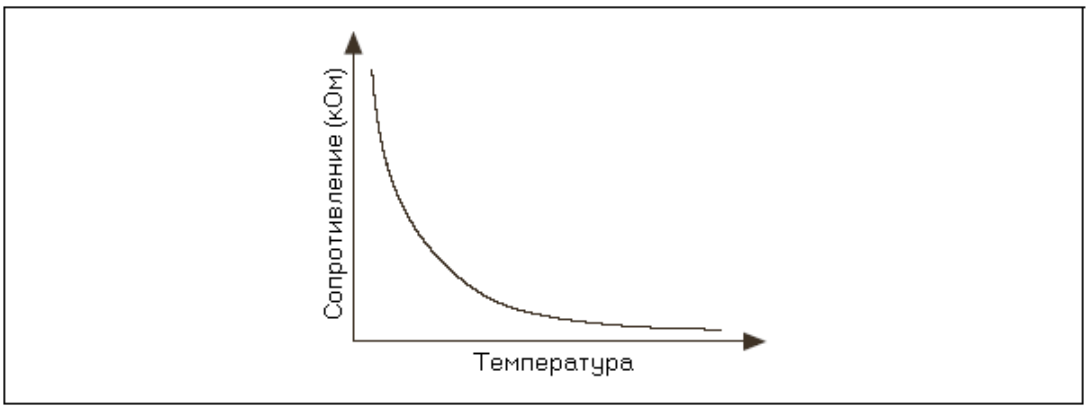


Рисунок А-6. График зависимости сопротивления от температуры термистора

Таким образом, термисторы имеют следующие характеристики:

• Требуют возбуждения, например, с помощью устройств согласования

• Требуют линеаризации

• Высокочувствительны

• Высокое сопротивление – не требуют трех и четырех проводных схем включения

Тензодатчики

Тензодатчик – устройство, применяемое для детектирования небольших смещений внутри материалов из-за деформаций или вибраций. Тензодатчики состоят из тонких проводников, прикрепленных к материалу, подверженному деформации. Изменения сопротивления датчика свидетельствует о деформации материала. Для детектирования различных физических величин используются преобразователи, состоящие, например, из набора тензодатчиков, прикрепленных к диафрагме (фольге). Примером может служить датчики напряжений – тензодатчики, сконфигурированные для измерения веса.

Тензодатчики обычно используются в конфигурации, называемой мостом Уитстона, который представляет собой четыре резистора, соединенных в виде ромба. Если к мосту приложить напряжение, то дифференциальное напряжение в промежуточных узлах мостах (V_m) будет меняться при изменениях сопротивлений резисторов моста, а тензодатчик представляет собой, в сущности, переменный резистор.

Тензодатчики включаются в различные конфигурации моста – полномостовую, полумостовую и четвертьмостовую схемы. В полномостовой схеме все четыре резистора моста Уитстона представляют собой тензодатчики. В полумостовой схеме тензодатчики используются в двух плечах моста, а в других двух плечах находятся резисторы, установленные пользователем либо встроенные в устройство согласования сигналов. На рисунке А-7 показана полумостовая схема включения тензодатчиков. R1 должен быть равен R2, а R_g – величина сопротивления тензодатчика без нагрузки. На этом рисунке приведен случай возбуждения постоянным напряжением, хотя для некоторых тензодатчиков требуется возбуждение током.

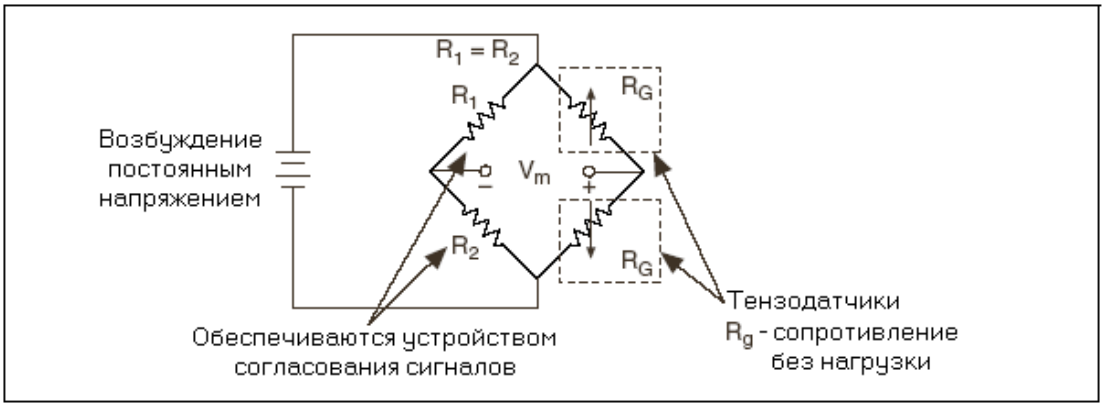


Рисунок А-7. Полумостовая схема включения тензодатчиков

Б. Схемотехника цепей аналогового ввода/вывода

В данном параграфе обсуждаются компоненты схемы аналогового ввода УСД. Это необходимо для лучшего понимания работы системы сбора данных по преобразованию напряжений реальных сигналов в цифровую форму, которую может анализировать и визуализировать компьютер.

Инструментальный усилитель

Для обеспечения максимальной точности аналого-цифрового преобразования используется инструментальный усилитель, который усиливает входное напряжение, чтобы оно наилучшим образом попадало в рабочий диапазон АЦП. Коэффициент усиления (КУ) определяется рабочим диапазоном АЦП, который подстраивается согласно диапазону изменения входного сигнала. Это выполняется либо аппаратно при помощи перемычек, либо программно с помощью LabVIEW. После усиления сигнала выходное напряжение усилителя флуктуирует в течение некоторого промежутка времени, которое называется временем установления (settling time) прежде чем стабилизируется в некотором допустимом диапазоне около действительного напряжения. Время установления влияет на частоту, с которой вы можете точно производить выборки данных, и оно зависит от приложенного усиления. Рисунок А-8 иллюстрирует переходную характеристику обычного инструментального усилителя. Обратите внимание, что проходит некоторое время – время установления t_s, прежде чем усиленный сигнал стабилизируется в переделах допустимого диапазона напряжений (±% V). Выходной сигнал усилителя должен установиться прежде, чем АЦП начнет преобразование. Если частота выборки (частота, с которой мультиплексор переключает каналы) превысит время установления сигнала инструментального усилителя, то принимаемые данные могут оказаться неточными.

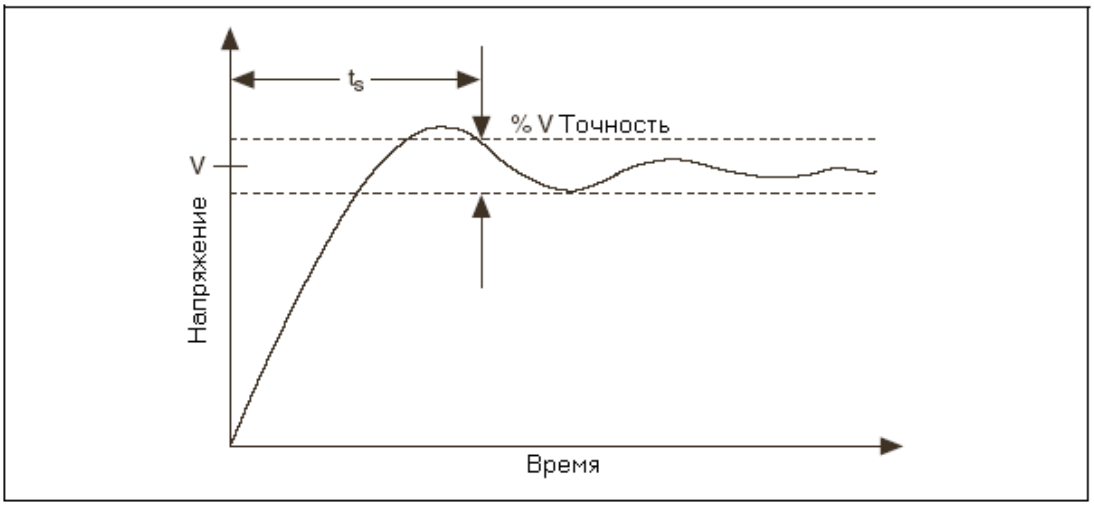


Рисунок А-8. Время установления

Например, рассмотрим УСД, принимающее два сигнала, как показано на рисунке А-9. Один из них в канале CH0 имеет напряжение +5 В, а другой в CH1 – 5 В. Это, пожалуй, наихудшая ситуация, ведь при переключении каналов инструментальный усилитель «видит» ступеньку амплитудой 10 вольт. Предположим, что время установления усилителя равно 10 мкс, а выборка происходит с частотой 200 кГц. Тогда усилитель не получит достаточного времени на установление, а мультиплексор уже переключит каналы. Следовательно, напряжение, поданное на АЦП, будет неправильным.

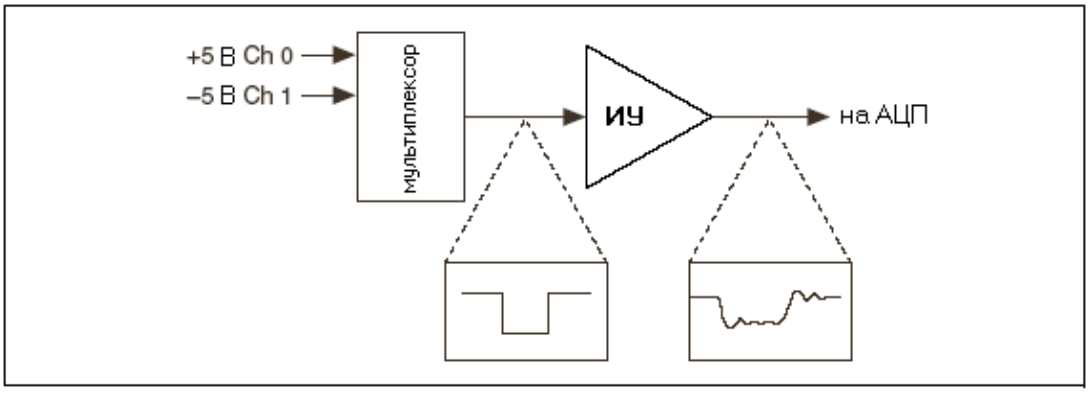


Рисунок А-9. Влияние мультиплексирования сигналов на инструментальный усилитель

На рисунке А-10 показана оцифровка сигналов рисунка А-9 со скоростью большей и меньшей времени установления. Обратите внимание, что в случае, если время установления сигнала инструментального усилителя (ИУ) еще не закончилось, АЦП оцифровывает неправильный уровень напряжения.

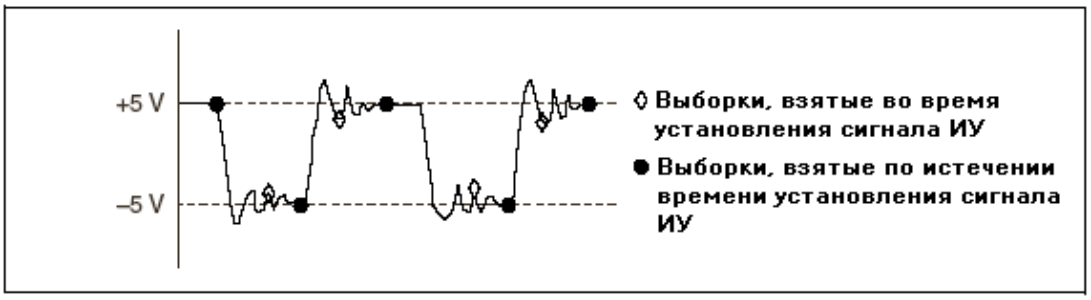


Рисунок А-10. Следствие оцифровки со скоростью, превышающей время установления сигнала инструментального усилителя

В этом примере приведена наихудшая ситуация – ИУ должен усилить напряжение в крайних точках рабочего диапазона. Когда последовательные входные сигналы отличаются лишь на несколько процентов друг от друга, время установления ИУ гораздо меньше. Например, рассмотрим следующие технические характеристики платы AT-MIO-16X. Инструментальный усилитель этой платы имеет время установления в диапазон, обеспечиваемый 16-битной точностью, равное 40 мкс. Следовательно, вы можете точно

оцифровать сигналы, изменяющиеся в диапазоне ±10 вольт, с частотой 25 кГц (наихудший сценарий). Однако если сигналы в опрашиваемых каналах отличаются не более чем на 10%, то время установления гораздо меньше, и вы можете оцифровывать сигнал с максимальной частотой этой платы – 100 кГц.

Для уменьшения влияния времени установления используйте следующие советы:

• Упорядочите оцифровываемые сигналы, чтобы перепады напряжения при переключении каналов были как можно меньше.

• Уменьшите сопротивления и емкости подводящих проводов DAQ платы.

• Приобретите плату, имеющую ИУ со сверхмалым временем установления. Многие DAQ платы компании National Instruments имеют специально разработанный инструментальный усилитель – NI-PGIA, обладающий одинаковым временем установления для всех КУ. На рисунке А-11 приводится сравнение зависимостей времен установления NI-PGIA и стандартного ИУ.

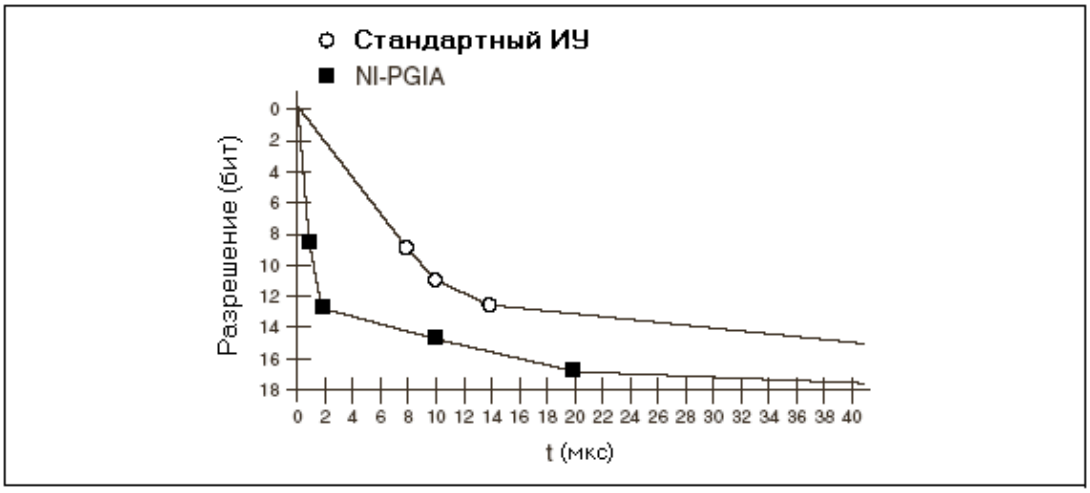


Рисунок А-11. Сравнение времен установления NI-PGIA и стандартного ИУ.

Характеристики УСД часто приводятся в терминах младшего двоичного разряда (least significant bit – LSB). Один МДР равен приращению напряжения, которое соответствует дискретному изменению МДР (т.е. то же, что и шаг дискретизации).

$$\text{МДР} = \frac{\text{Рабочий диапазон АЦП}}{(\text{усиление} \times 2^{\text{разрешение АЦП в битах}})}$$

Например, AT-MIO-16X может прийти в установившееся состояние в диапазоне ±0.5 МДР (или ±76.3 мкВ), используя усиление, равное 1, и рабочий диапазон 10 В.

$$\pm 0.5\,\text{МДР} = \pm\left(\frac{10/1}{2^{16}}\right) * 0.5 = \pm\frac{5}{65536} = \pm 76.3\,\text{мкВ}$$

АЦП

Главным компонентом схемы аналогового ввода является аналого-цифровой преобразователь (АЦП). АЦП оцифровывает входной аналоговый сигнал, то есть преобразует аналоговое напряжение в цифровую величину и хранит эту величину в FIFO буфере до тех пор, пока она не будет передана в память компьютера. Во время высокоскоростного сбора данных FIFO буфер предотвращает потерю данных из-за задержек прерывания, которые могут возникнуть при передаче данных в память компьютера. УСД используют различные методы аналого-цифрового преобразования. Наиболее частот используемые методы это: последовательного приближения, параллельный, последовательно-параллельный, двойного интегрирования и дельта-сигма модуляции.

Метод последовательного приближения

АЦП последовательного приближения – наиболее популярный тип АЦП, используемый в УСД, поскольку его отличают высокое быстродействие и высокая точность при вполне умеренной стоимости. На рисунке А-12 изображена схема 8-разрядного АЦП последовательного приближения.

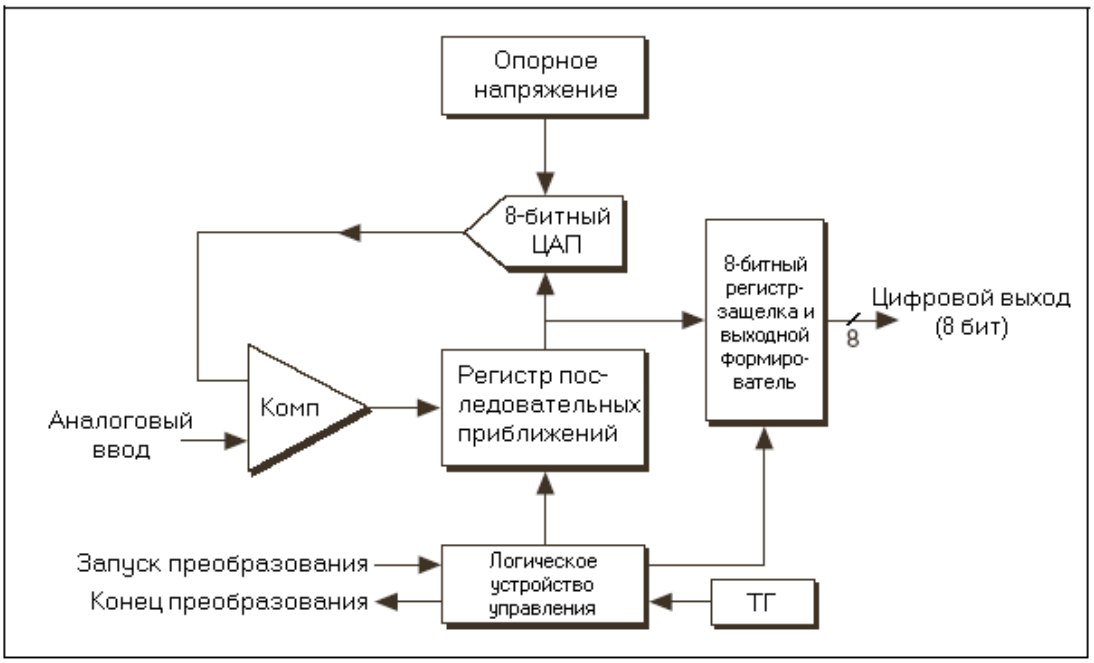


Рисунок А-12. АЦП последовательного приближения

Преобразователь последовательного приближения использует технику, похожую на определение веса объекта при помощи набора гирь. Например, предположим, что у вас имеется четыре гири 1 г, 2 г, 4 г и 8 г. Вы помещаете объект на одну чашу весов, а наибольшую гирю на другую. Если стрелка весов не сдвинулась, вы помещаете еще одну гирю с наибольшим весом. Если стрелка сдвинулась, то вы убираете эту гирю и ставите вместо нее гирю полегче. Это

продолжается до тех пор, пока весы не будут уравновешены. Подсчитав число гирь с соответствующими весами, вы определите вес объекта.

8-разрядный преобразователь последовательного приближения работает подобным же образом. Регистр последовательных приближений устанавливает все восемь разрядов ЦАП в 0. Затем, начиная с самого старшего разряда (ССР), каждый бит устанавливается в 1, и компаратор (Комп) сравнивает выходное напряжение. Если напряжение ЦАП не превышает входного, то бит остается равным 1, в противном случае он устанавливается в 0. Цифровой код, представляющий входное аналоговое напряжение, выводится после того, как все *n* разрядов будут проверены. В случае 8-разрядного АЦП этот процесс обычно занимает меньше 2 мкс. На рисунке А-13 отображена последовательность преобразования 8-разрядным АЦП последовательного приближения.

Рисунок А-13. Последовательность преобразования 8-разрядным АЦП последовательного приближения

Параллельный и последовательно-параллельный методы

Самый быстродействующий АЦП – это параллельный (flash) АЦП. При использовании n-разрядного АЦП входное напряжение подается одновременно на 2^{n-1} компараторов. Как показано на рисунке А-14, каждый из компараторов сравнивает входное напряжение с различным опорным напряжением. Опорные напряжения последовательных компараторов кодируют разряды выходного напряжения. Если входное напряжение больше или равно опорного напряжения, выход компаратора равен 1, в противном случае – 0. Шифратор транслирует выходные сигналы компараторов в цифровой код.

Параллельные преобразователи обычно имеют не более 8 разрядов выходного кода. При большем числе разрядов АЦП становятся чрезмерно дорогостоящими и громоздкими. Для удешевления продукта применяются последовательно-параллельные АЦП, которые используют смешанную технику, что, однако, приводит к уменьшению быстродействия по сравнению с параллельными АЦП.

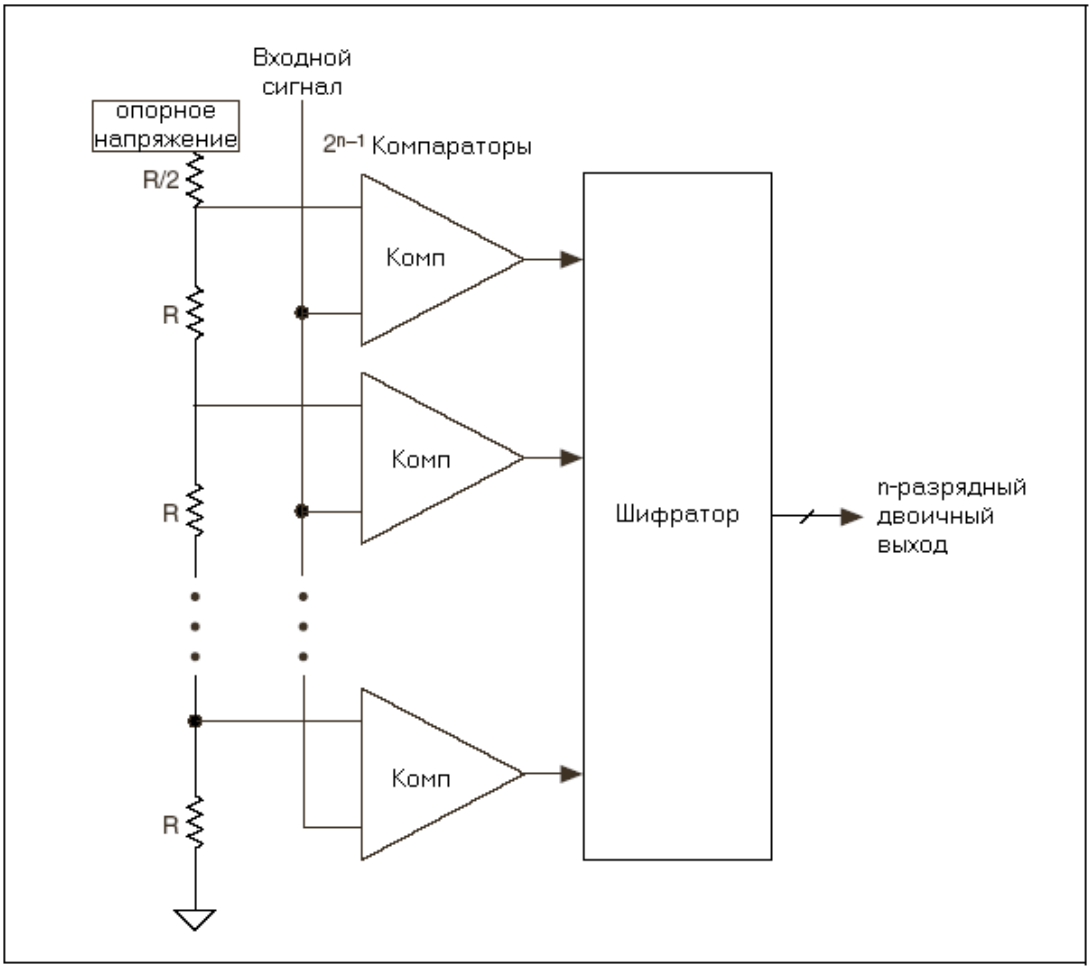


Рисунок А-14. Параллельный АЦП

Интегрирующий АЦП

Другой метод аналого-цифрового преобразования – интегрирующий – использует интегрирование для оцифровки входного сигнала. АЦП такого типа имеют ряд преимуществ – высокое разрешение, хорошую линейность и подавление помех с использованием усреднения. Однако есть и серьезный недостаток – низкая скорость преобразования. Поэтому интегрирующие АЦП преимущественно используются в качестве цифровых вольтметров или других устройств, не требующих большой частоты измерений.

Дельта-сигма модуляция

Самая современная технология в АЦП – это использование дельта-сигма преобразования. АЦП такого типа используют дельта-сигма модуляторы совместно с фильтрами защиты от наложения спектров и цифровыми фильтрами. Они обеспечивают высокую частоту дискретизации, высокую точность и наилучшую линейность среди всех типов АЦП. Например, АЦП такого типа имеет разрешение 16 бит на частоте 48 кГц с полным отсутствием дифференциальной нелинейности.

Таблица А-2. Преимущества/использование различных типов АЦП

Тип АЦП	Преимущества/использование
Последовательного приближения	Высокое разрешение Высокое быстродействие Легкость переключения Обычно используется на DAQ платах Может оцифровывать постоянные сигналы
Параллельный	Наибольшее быстродействие Отработанная технология Более дорогостоящий
Интегрирующий	Высокое разрешение Хорошее подавление помех Хорошая линейность Отработанная технология Низкая частота преобразования Обычно используется в цифровых мультиметрах
Дельта-сигма	Высокое разрешение Великолепная линейность Встроенные фильтры защиты от наложения спектров Оцифровывает переменные сигналы