# PXI

## NI PXI-4220
## Руководство пользователя

Май 2005
373530B-01

## Техническая поддержка по всему миру и информация о выпускаемой продукции

ni.com

## Штаб-квартира корпорации National Instruments

11500 North Mopac Expressway Austin, Texas 78759-3504 USA Tel: 512 683 0100

## Офисы по всему миру

Australia 1800 300 800, Austria 43 0 662 45 79 90 0, Belgium 32 0 2 757 00 20, Brazil 55 11 3262 3599, Canada 800 433 3488, China 86 21 6555 7838, Czech Republic 420 224 235 774, Denmark 45 45 76 26 00, Finland 385 0 9 725 725 11, France 33 0 1 48 14 24 24, Germany 49 0 89 741 31 30, India 91 80 41190000, Israel 972 0 3 6393737, Italy 39 02 413091, Japan 81 3 5472 2970, Korea 82 02 3451 3400, Lebanon 961 0 1 33 28 28, Malaysia 1800 887710, Mexico 01 800 010 0793, Netherlands 31 0 348 433 466, New Zealand 0800 553 322, Norway 47 0 66 90 76 60, Poland 48 22 3390150, Portugal 351 210 311 210, Russia 7 095 783 68 51, Singapore 1800 226 5886, Slovenia 386 3 425 4200, South Africa 27 0 11 805 8197, Spain 34 91 640 0085, Sweden 46 0 8 587 895 00, Switzerland 41 56 200 51 51, Taiwan 886 02 2377 2222, Thailand 662 278 6777, United Kingdom 44 0 1635 523545

За подробной информацией о поддержке обратитесь к документу *Signal Conditioning Technical Support Information*. Чтобы оставить свои комментарии о документации National Instruments, зайдите на сайт `ni.com/info` и введите код обратной связи `feedback`.

© 2003-2005 National Instruments Coproration. Все права защищены.

# Важная информация

## Гарантийные обязательства

На модуль NI PXI-4220 действует гарантия, которая подтверждается гарантийным талоном или другим документом. Гарантийный срок составляет один год, начиная с даты продажи. Гарантийные обязательства распространяются на дефекты используемых материалов и брак изделия. National Instruments обязуется отремонтировать или заменить неисправное оборудование в течение гарантийного срока. Гарантийное обслуживание включает в себя замену комплектующих и ремонтные работы.

Гарантия на носитель информации, на котором поставляется программное обеспечение National Instruments, действует в течение 90 дней со дня продажи, который указан в гарантийном талоне или другом документе. National Instruments обязуется в течение гарантийного срока восстановить или заменить бракованный носитель информации с программным обеспечением. National Instruments не гарантирует стабильность и безошибочность работы программного обеспечения.

Перед тем, как оборудование принимается на гарантийное обслуживание, снаружи упаковки должен быть нанесен номер возврата товара, полученный на заводе. National Instruments оплатит почтовые расходы при возврате комплектующих, находящихся на гарантии.

National Instruments ручается за достоверность информации в настоящем документе. Тщательно проверена техническая грамотность документа. При обнаружении технических или орфографических ошибок National Instruments оставляет за собой право внесения изменений в последующих изданиях этого документа с предварительным уведомлением обладателей настоящего издания. В случае подозрений о наличии ошибок читателю следует поставить об этом в известность National Instruments.

Ни при каких обстоятельствах National Instruments не несет ответственность за неисправности, связанные с использованием информации, содержащейся в настоящем документе.

NATIONAL INSTRUMENTS НЕ ДАЕТ БОЛЬШЕ НИКАКИХ ГАРАНТИЙ, ПРЯМЫХ ИЛИ КОСВЕННЫХ, НА ПРИГОДНОСТЬ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ КОНКРЕТНЫХ ЗАДАЧ. УСТРАНЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ, ВЫЗВАННЫХ НЕБРЕЖНЫМ ОБРАЩЕНИЕМ С ИЗДЕЛИЯМИ NATIONAL INSTRUMENTS, ДОЛЖНО ПРОИЗВОДИТЬСЯ ЗА СЧЕТ ПОКУПАТЕЛЯ. NATIONAL INSTRUMENTS НЕ НЕСЕТ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА НЕИСПРАВНОСТИ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ПОТЕРЕЙ ДАННЫХ, ПРЯМЫЕ И КОСВЕННЫЕ УБЫТКИ, ЕСЛИ ПОТРЕБИТЕЛЬ О НИХ ЗАРАНЕЕ ПРЕДУПРЕЖДЕН. Ответственность National Instruments ограничена независимо от того, было ли изделие повреждено случайно или умышленно. Любые иски против National Instruments должны быть рассмотрены в течение одного года. National Instruments не несет ответственности за любую задержку гарантийного обслуживания в случае возникновения обстоятельств непреодолимой силы. Гарантийному ремонту не подлежат неисправности, дефекты, отказы, вызванные несоблюдением инструкций по установке, работе и обслуживанию изделия; самостоятельной модификацией изделия; небрежным и неправильным обращением; сбоями и импульсными помехами в питающей сети, пожарами, наводнениями, авариями, действиями третьих лиц или обстоятельствами непреодолимой силы.

## Авторское право

Согласно законам об авторском праве, это руководство нельзя переиздавать и распространять как в электронной, так и в печатной форме путем ксерокопирования, перезаписи, хранения в информационно-поисковых системах. Также нельзя осуществлять полный или частичный перевод без предварительного письменного разрешения от корпорации National Instruments.

## Торговые марки

National Instruments, NI. ni.com, LabVIEW являются торговыми марками корпорации National Instruments. За более подробной информацией обратитесь к разделу *Terms of Use* на сайте `ni.com/legal`.

Названия других упомянутых в данном руководстве изделий и производителей также являются торговыми марками, у которых есть правообладатели.

## Патенты

Для получения информации о патентах, которыми защищены изделия National Instruments, запустите команду **Help»Patents** из главного меню Вашего программного обеспечения, откройте файл `patents.txt` на имеющемся у Вас компакт-диске или зайдите на сайт ni`.com/patents`.

## Техника безопасности при работе с изделиями National Instruments

(1) ИЗДЕЛИЯ NATIONAL INSTRUMENTS НЕ СОДЕРЖАТ КОМПОНЕНТОВ, ПОЗВОЛЯЮЩИХ ИХ ИСПОЛЬЗОВАТЬ СОВМЕСТНО С ХИРУРГИЧЕСКИМИ ИМПЛАНТАНТАМИ, А ТАКЖЕ В ЛЮБЫХ СИСТЕМАХ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ, ОТКАЗ КОТОРЫХ МОЖЕТ НАНЕСТИ СУЩЕСТВЕННЫЙ ВРЕД ЧЕЛОВЕКУ. ПРОВЕРКА НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ В ТАКИХ СИСТЕМАХ НЕ ПРОВОДИЛАСЬ.

(2) В ЛЮБЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ, ВКЛЮЧАЯ ВЫШЕУПОМЯНУТЫЕ, НАДЕЖНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ МОЖЕТ БЫТЬ СНИЖЕНА ЗА СЧЕТ ФЛЮКТУАЦИЙ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ, НЕИСПРАВНОСТЕЙ КОМПЬЮТЕРА, НАСТРОЕК ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ, НАСТРОЕК КОМПИЛЯТОРОВ И СРЕДЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ, В КОТОРОЙ РАЗРАБАТЫВАЕТСЯ ПРИЛОЖЕНИЕ, ОШИБОК ПРИ УСТАНОВКЕ, ПРОБЛЕМ СОВМЕСТИМОСТИ АППАРАТНОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, НЕИСПРАВНОСТЕЙ И СБОЕВ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ МОНИТОРИНГА ИЛИ УПРАВЛЕНИЯ, САМОУСТРАНЯЮЩИХСЯ ОТКАЗОВ АППАРАТНОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, НЕПРАВИЛЬНОГО ОБРАЩЕНИЯ, ОШИБОК ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ИЛИ РАЗРАБОТЧИКА ПРИЛОЖЕНИЯ (ВСЕ ЭТИ ФАКТОРЫ НАЗЫВАЮТСЯ СИСТЕМНЫМИ СБОЯМИ). ЛЮБОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ, ГДЕ СИСТЕМНЫЙ СБОЙ МОЖЕТ ПРИВЕСТИ К ПОВРЕЖДЕНИЮ ИМУЩЕСТВА, А ТАКЖЕ РАНЕНИЮ ИЛИ СМЕРТИ ЛЮДЕЙ, НЕ МОЖЕТ ВЫЗЫВАТЬ ДОВЕРИЕ. ВО ИЗБЕЖАНИЕ ТАКИХ СЛУЧАЕВ РАЗРАБОТЧИК ИЛИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ ПРИЛОЖЕНИЯ ДОЛЖНЫ ПРЕДУСМОТРЕТЬ МЕРЫ ЗАЩИТЫ ОТ СИСТЕМНЫХ СБОЕВ, ВКЛЮЧАЯ МЕХАНИЗМЫ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ И ОТКЛЮЧЕНИЯ, ПОСКОЛЬКУ, ВО-ПЕРВЫХ, КАЖДАЯ ГОТОВАЯ СИСТЕМА ПРИСПАСАБЛИВАЕТСЯ ДЛЯ КОКРЕТНОГО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ И ОТЛИЧАЕТСЯ ОТ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ПЛАТФОРМ NATIONAL INSTRUMENTS, ВО-ВТОРЫХ, ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ ИЛИ РАЗРАБОТЧИК МОЖЕТ КОМБИНИРОВАТЬ ИЗДЕЛИЯ NATIONAL INSTRUMENTS С ДРУГИМИ ИЗДЕЛИЯМИ СПОСОБАМИ, КОТОРЫЕ НЕ ПРОВЕРЯЛИСЬ СПЕЦИАЛИСТАМИ NATIONAL INSTRUMENTS. ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ ИЛИ РАЗРАБОТЧИК ПОЛНОСТЬЮ ОТВЕЧАЕТ ЗА ПРОВЕРКУ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРАВИЛЬНОСТИ СБОРКИ, ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ИЛИ ПРИЛОЖЕНИЙ, В СОСТАВ КОТОРЫХ ВХОДЯТ ИЗДЕЛИЯ NATIONAL INSTRUMENTS

# Условные обозначения

В настоящем руководстве используются следующие обозначения:

| | |
|---|---|
| < > | Угловые скобки, в которые заключены числа, разделенные многоточием, представляют диапазон значений, ассоциируемых с номерами бит или именами сигналов, например, AO <3..0>. |
| » | Символ » служит, чтобы показать путь выбора цели с помощью вложенных меню и диалоговых окон. Например, последовательность **File»Page Setup»Options** означает, что вам следует открыть меню **File**, выбрать там пункт **Page Setup** и затем выбрать команду **Options** в появившемся диалоговом окне. |
| | Пиктограмма примечания с важной информацией. |
| | Пиктограмма предупреждения, содержащего рекомендации, как избежать травм, потерь данных или выхода из строя системы. Если такая пиктограмма нанесена на корпус изделия, обратитесь к инструкции по технике безопасности *Read Me First: Safety and Radio-Frequency Interference*, поставляемой вместе с изделием. |
| | Если такая пиктограмма нанесена на корпус прибора, вам следует принять меры предосторожности во избежание поражения электрическим током. |
| | Если такая пиктограмма нанесена на какой-либо компонент изделия, он может оказаться горячим. Прикосновение к нему может вызвать ожог. |
| **полужирный** | Полужирным шрифтом выделены пункты меню или органы управления диалоговых окон, а также обозначения параметров. |
| *курсив* | Курсивом выделены имена переменных, важные фрагменты текста, перекрестные ссылки, а также пояснения к ключевым понятиям. Курсивом также выделено место в тексте, которое нужно заменить словом или значением. |
| `courier` | Таким шрифтом записывается текст или отдельные символы, которые следует вводить с клавиатуры, фрагменты текстов программ, примеры программ, а также примеры синтаксиса отдельных команд. Этот шрифт используется также для имен дисковых накопителей, путей, папок, программ, подпрограмм, имен устройств, функций, операций, переменных, имен файлов и расширений. |
| *`courier курсив`* | Этим шрифтом выделяется текст, который указывает место, куда вам необходимо вставить слово или число. |

# Содержание

**Краткие сведения о модуле NI PXI-4220 ..... 8**
Компоненты, необходимые для начала работы ..... 9
Документация National Instruments ..... 10
Инсталляция программ разработки приложений, драйверов устройств NI-DAQ и DAQ-устройств ..... 10
Установка NI PXI-4220 ..... 10
Описания светодиодов ..... 11
**Подключение сигналов ..... 12**
Подключение сигналов с мостового датчика к NI PXI-4220 ..... 12
Четвертьмостовая схема (тип I) ..... 16
Четвертьмостовая схема (тип II) ..... 17
Полумостовая схема (тип I) ..... 18
Полумостовая схема (тип II) ..... 19
Полномостовая схема (тип I) ..... 20
Полномостовая схема (тип II) ..... 21
Полномостовая схема (тип III) ..... 22
Дистанционные измерения ..... 23
**Конфигурирование и тестирование ..... 24**
Проверка и самоконтроль с помощью тестовых панелей ..... 24
Программное конфигурирование модуля NI PXI-4220 ..... 24
Общие программные настройки ..... 25
Конфигурирование с помощью MAX ..... 27
NI-DAQmx ..... 27
Проверка по сигналам ..... 31
Проверка по сигналам с использованием задачи или глобального канала NI-DAQmx ..... 31
**Принцип действия ..... 33**
Теоретические основы тензометрии ..... 33
Мосты Уитстона ..... 33
Тензодатчики ..... 34
Сокращения, формулы и определения величин ..... 34
Программное масштабирование и уравнения преобразования ..... 35
Quarter-Bridge Type I (1/4 моста – тип I) ..... 36
Quarter-Bridge Type II (1/4 моста – тип II) ..... 38
Half-Bridge Type I (1/2 моста– тип I) ..... 41
Half-Bridge Type II (1/2 моста – тип II) ..... 43
Full-Bridge Type I (Полный мост – тип I) ..... 45
Full-Bridge Type II (Полный мост – тип II) ..... 47
Full-Bridge Type III (Полный мост – тип III) ..... 49
Принцип действия модуля PXI-4220 ..... 51
Конфигурирование и дополнение моста ..... 54
Питание моста ..... 54
Коэффициент усиления/Диапазон входного сигнала ..... 57
Фильтрация ..... 58
Компенсация смещения нуля ..... 59
Калибровка с помощью шунта ..... 60
Синхронная выборка и хранение ..... 61

Вопросы измерений....63
Характеристика синхронизации и управления....64
Входы с программируемой функцией....65
Тактовые импульсы устройства и тактовые импульсы PXI....66
**Разработка приложения....69**
Разработка приложения в NI-DAQmx....69
Блок-схема типового алгоритма....69
Общие пояснения к типовому алгоритму....70
Разработка приложения в LabVIEW....75
Работа с узлами свойств канала NI-DAQmx в LabVIEW....77
Синхронизация и запуск....78
Синхронизация NI PXI-4220 в LabVIEW....80
Другая документация и материалы по приложениям....82
Калибровка NI PXI-4220....83
Калибровка модуля NI PXI-4220....83
Калибровка системы....84
**Приложение A. Технические характеристики....85**
**Приложение B Сигналы синхронизации....94**
**Приложение C. Деинсталляция модуля NI PXI-4220....103**
**Приложение D. Часто задаваемые вопросы....105**
**Глоссарий....107**

# 1

# Краткие сведения о модуле NI PXI-4220

В данной главе представлены краткие сведения о модуле NI PXI-4220 и его установке.

Модуль NI PXI-4220 относится к серии SC устройств сбора данных (DAQ) со встроенным преобразованием сигналов. Серия SC упрощает настройку измерений и конфигурирования, путем интеграции кондиционирования сигналов и сбора данных в одном изделии.

NI PXI-4220 - полнофункциональное устройство для измерения деформации в динамике с программируемым преобразованием сигнала от мостового датчика, программируемой фильтрацией и программируемым коэффициентом усиления в каждом канале, обеспечивающими максимальную точность измерений с использованием мостовых датчиков. В NI PXI-4220 есть инструментальный усилитель с программируемым коэффициентом усиления (PGA) компании National Instruments (NI), гарантирующим быстрое время установления при любых значениях коэффициента усиления. При работе с NI PXI-4220 используется помощник NI-DAQmx DAQ Assistant, а точнее мастер **Strain Gage Calibration,** для легкого выполнения компенсации смещения нуля и калибровки с помощью шунта.

NI PXI-4220 – двухканальный модуль для взаимодействия с измерительным мостом Уитсона в разных конфигурациях. NI PXI-4220 обладает следующими характеристиками:

- Два дифференциальных канала аналогового ввода (AI)
- 16-разрядное разрешение
- Частота дискретизации для одного канала – $333 \cdot 10^3$ Отсчетов/с
- Частота дискретизации при одновременном сборе данных - $66 \cdot 10^3$ Отсчетов/с/канал
- Прямое подключение через две вилки D-Subminiature (D-SUB)
- Инструментальный усилитель в каждом канале
- Синхронная выборка и хранение (SS/H) при помощи схемы слежения и фиксации (T/H)
- Синхронизация с другими DAQ-устройствами через шину запуска PXI
- 4-полюсные программируемые фильтры Баттерворта с программно доступными в канале настройками: фильтрация отключена, 10 Гц, 100 Гц, 1 кГц и 10 кГц
- Программируемое напряжение питания моста с сигналом удаленной обратной связи в каждом канале

- Программируемая компенсация смещения нуля в каждом канале
- Программируемая калибровка с помощью шунта в каждом канале
- Программируемая схема дополнения моста в каждом канале
- Контакт Programmable Function Input (PFI) для внешних синхронизации, запуска и калибровки.

Вы можете сконфигурировать большинство настроек каналов программным способом. NI PXI-4220 конфигурируется при помощи Measurement & Automation Explorer (MAX) или с помощью вызова функций NI-DAQmx.

## Компоненты, необходимые для начала работы

Для настройки и эксплуатации модуля NI PXI-4220 требуются следующие компоненты:

- □ Аппаратные средства
  - – Модуль NI PXI-4220
  - – Шасси PXI
  - – Датчики, необходимые для вашего приложения
- □ Программное обеспечение
  - – NI-DAQ 7.0 или выше
  - – Одна из следующих сред разработки:
    - LabVIEW
    - Measurement Studio
    - LabWindows™/CVI™
    - Обратитесь к документу **National Instruments»NI-DAQ»NI-DAQ Read Me** за списком поддерживаемых текстовых компиляторов
- □ Документация
  - – *NI PXI-4220 User Manual (Руководство пользователя NI PXI-4220)*
  - – *DAQ Quick Start Guide (Краткое руководство начинающего пользователя DAQ)*
  - – *Read Me First: Safety and Radio-Frequency Interference (Первоначальные сведения по технике безопасности и радиопомехам)*
  - – *Руководство пользователя шасси PXI*
  - – Документация на ваше программное обеспечение
- □ Инструменты
  - – Отвертка с плоской головкой на 1/8 дюйма.

Вы можете скачать документы NI с сайта `ni.com/manuals`.

## Документация National Instruments

Настоящее руководство пользователя является частью комплекта документации по системам сбора данных (DAQ-систем). Вам могут потребоваться различные руководства в зависимости от используемых в составе системы аппаратных средств и программного обеспечения. В вашем распоряжении следующие документы:

- *DAQ Quick Start Guide*—В этом документе описана установка устройств NI-DAQ и программного обеспечения NI-DAQ. Инсталлируйте NI-DAQmx до установки модуля PXI.
- Руководство по шасси PXI - прочитайте это руководство для получения информации о шасси и ознакомления с инструкциями по установке.
- Документация на программное обеспечение – у вас может быть документация как на системы разработки прикладных программ, так и на драйвера NI-DAQmx. Системы разработки прикладных программ National Instruments (NI) включают в себя LabVIEW, LabWindows/CVI и Measurement Studio. После установки аппаратных средств пользуйтесь в процессе разработки приложений этой документацией и документацией на NI-DAQmx. Если вы создаете большую и сложную систему, перед конфигурированием аппаратных средств имеет смысл ознакомиться с документацией на программное обеспечение.

## Инсталляция программ разработки приложений, драйверов устройств NI-DAQ и DAQ-устройств

Для установки прикладного программного обеспечения, драйверов NI-DAQ и DAQ-устройства, к которому будет подсоединяться NI PXI-4220, обратитесь к руководству *DAQ Quick Start Guide*, поставляемому вместе с программным обеспечением NI-DAQ.

Для настройки и программирования NI PXI-4220 требуется NI-DAQ версии 7.0 или выше. Если у вас нет набора драйверов NI-DAQ 7.0 или более поздней версии, закажите CD-диск у торгового представителя NI или скачайте последнюю версию с сайта `ni.com`.

## Установка NI PXI-4220

**Примечание:** Обратитесь к документу *Read Me First: Radio-Frequency Interference* прежде чем удалять упаковку оборудования и подключать или отключать провода.

Обратитесь к руководству *DAQ Quick Start Guide* для распаковки, установки и настройки NI PXI-4220 в шасси PXI.

## Описания светодиодов

Следующие светодиоды на лицевой панели NI PXI-4220 подтверждают правильное функционирование системы:

- Светодиод *ACCESS* обычно зеленого цвета и мигает желтым с периодом, как минимум, 100 мс во время настройки NI PXI-4220.
- Светодиод *ACTIVE* обычно зеленого цвета и мигает желтым с периодом, как минимум, 100 мс во время сбора данных.

# 2

# Подключение сигналов

В настоящей главе описывается подключение мостовых датчиков, включенных в мост Уитстона, к модулю SCXI-4220 по ¼ мостовой, ½ и полномостовой схемам, а также по схеме удаленного подключения.

## Подключение сигналов с мостового датчика к NI PXI-4220

В настоящем разделе обсуждается, каким образом подаются сигналы с поддерживаемых тензометрических схем, а также датчиков, включенными по полной мостовой схеме, таких, как датчики нагрузки, силы, момента и давления. Рассматриваются линии связи с удаленными датчиками. Общие представления о тензодатчиках даются в главе 4, *Принцип действия*.

**Внимание:** Прежде, чем распаковывать устройство, подключать или отключать любые сигнальные проводники ознакомьтесь с документом *Read Me First: Safety and Radio-Frequency Interference.*

На рисунке 2-1 показана лицевая панель NI PXI-4220 с расположенными на ней разъемами D-SUB и PFI0/CAL SMB.

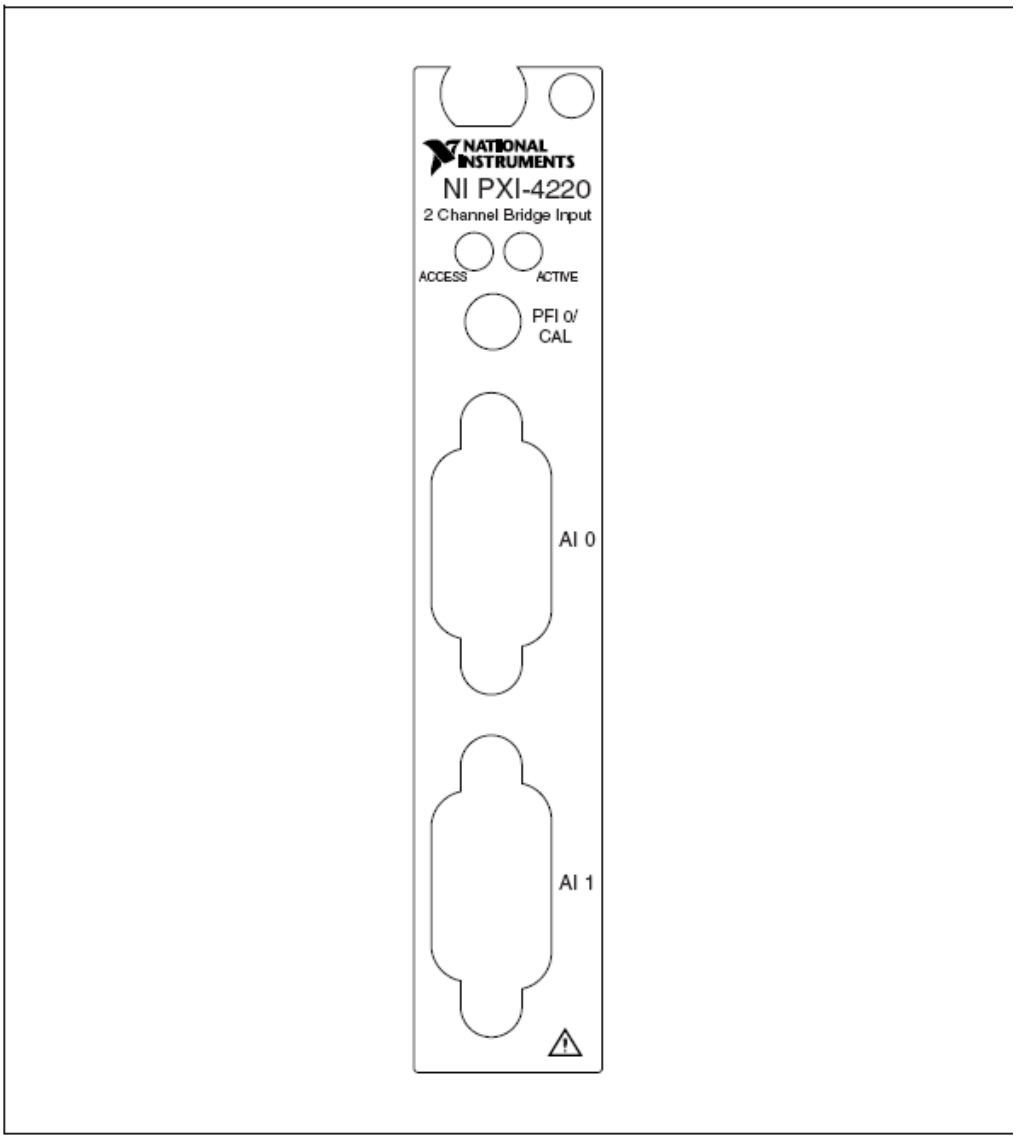



**Рисунок 2-1.** Лицевая панель NI PXI-4220

Смонтируйте кабель с разъемом SMB для подключения сигналов синхронизации и запуска к разъему PFI0/CAL SMB.

**Внимание:** Разъем PFI0/CAL SMB служит для подключения только низковольтовых сигналов синхронизации и калибровки. Напряжение с уровнями вне диапазона ± 10 В может привести к повреждению устройства.

На рисунке 2-2 показано назначение сигналов для каждого из разъемов D-SUB модуля NI PXI-4220. При монтаже кабелей для этих разъемов руководствуйтесь рисунком 2-2, чтобы правильно выполнить подключение сигнальных проводников. В схеме электрических соединений узел подключения каждого сигнала обозначен номером контакта для указания соответствия между сигналом и используемым для этого сигнала контактом.

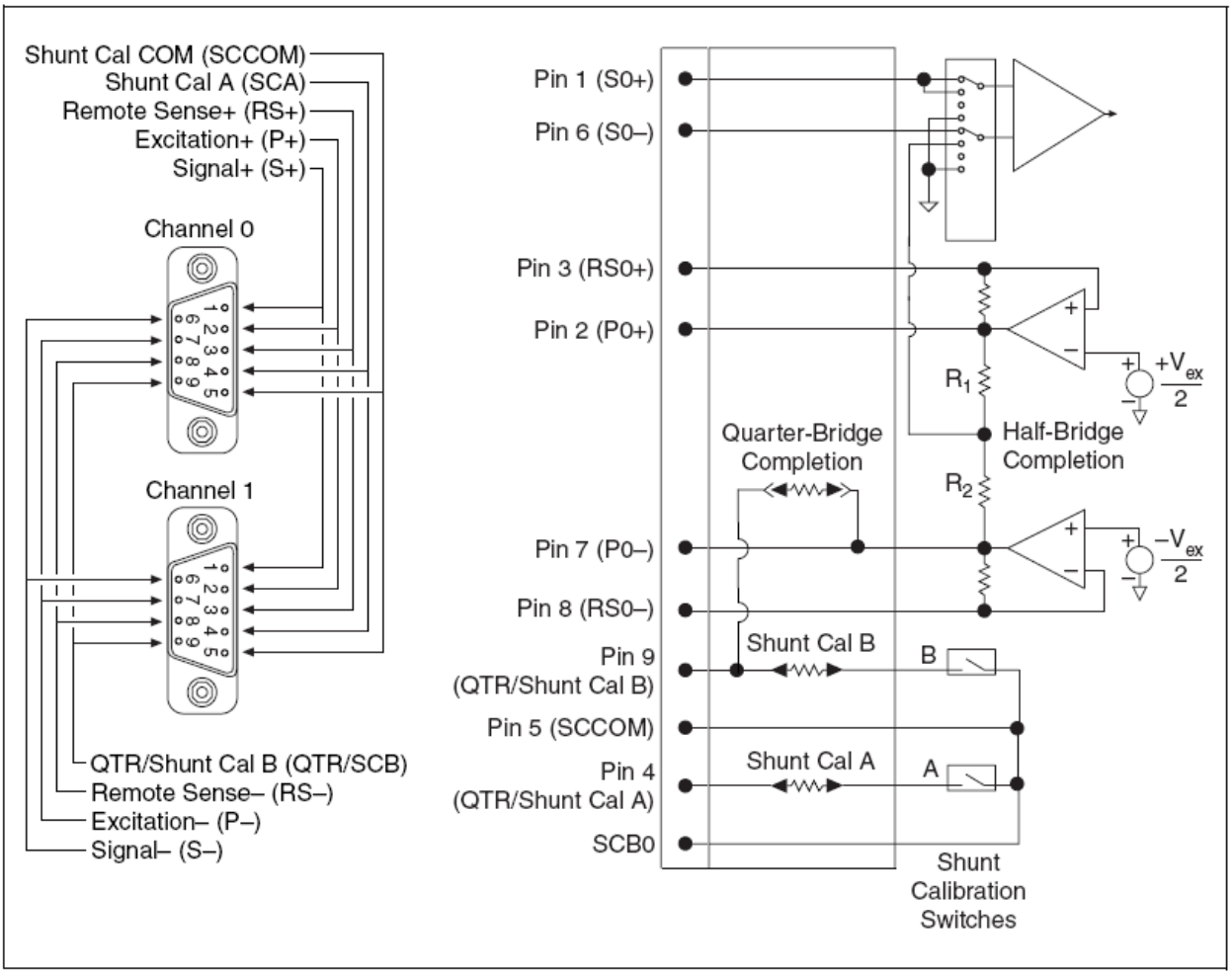



**Рисунок 2-2.** Разъемы на лицевой панели NI PXI-4220 и обобщенная электрическая схема

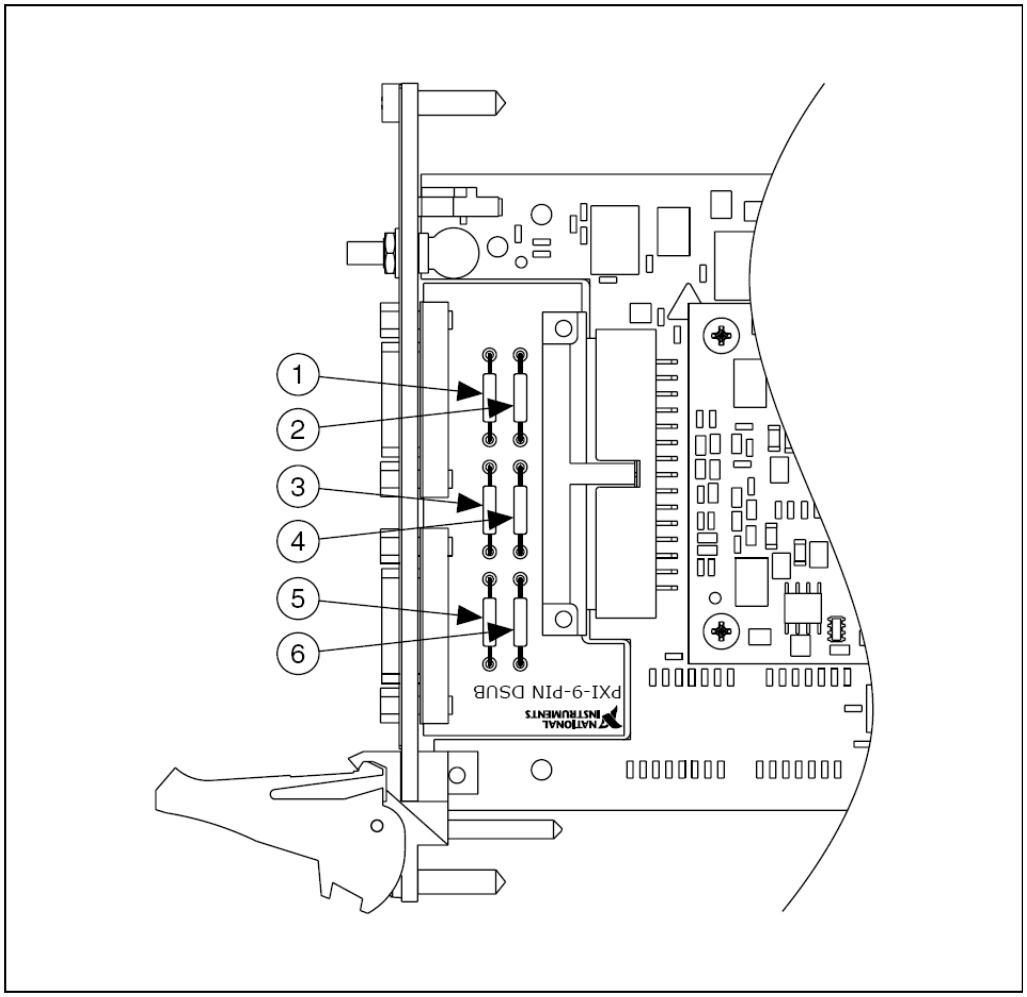
Shunt Cal Com (SCCOM) – общий провод калибровочных шунтов; Shunt Cal A (SCA) – калибровочный шунт A; Remote Sense+ (RS+) – сигнальный проводник «+» от удаленного датчика; Excitation+ (P+) – проводник «+» питания»; Signal+ (S+) – проводник «+» сигнала; Channel 0, Channel 1 – каналы 0 и 1

QTR/Shunt Cal B (QTR/SCB) – дополнение для 1/4- мостовой схемы/калибровочный шунт B; Remote Sense- (RS-) – сигнальный проводник «-» от удаленного датчика; Excitation- (P-) – проводник «-» питания»; Signal- (S-) – проводник «-» сигнала

Quarter-Bridge Completion – дополнение для 1/4- мостовой схемы; Half-Bridge Completion – дополнение для 1/2- мостовой схемы; Shunt Calibration Switches – переключатели калибровочных шунтов

**Примечание:** Место расположения резисторов дополнения для ¼ и ½ - мостовой схемы и резисторов калибровочных шунтов показано на рисунке 2-3.

На рисунке 2-3 показаны места расположения резисторов, устанавливаемых в гнезда модуля NI PXI-4220.




| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | R4 (калибровочный шунт B канала 0) | 4 | R2 R5 (дополнение для ¼-мостовой схемы канала 1) |
| 2 | R1 (калибровочный шунт A канала 0) | 5 | R6 (калибровочный шунт B канала 1) |
| 3 | R5 (дополнение для ¼-мостовой схемы канала 0) | 6 | R3 (калибровочный шунт A канала 0) |

**Рисунок 2-3.** Расположение резисторов, устанавливаемых в гнезда

## Четвертьмостовая схема (тип I)

В настоящем разделе приведена информация о четвертьмостовой тензометрической схеме (тип I), которая показана на рисунке 2-4. Дополнительная информация об этой схеме приведена в разделе *Четверть-мостовая схема типа I* главы 4 *Принцип действия.*

**Примечание:** Двухпроводный тензометрический элемент подключайте активными выводами к цепям S+ (контакт 1) и P+ (контакт 2), а коротким проводником соедините S+ (контакт 1) с цепями QTR/SCB (контакт 9) и SCA (контакт 4).

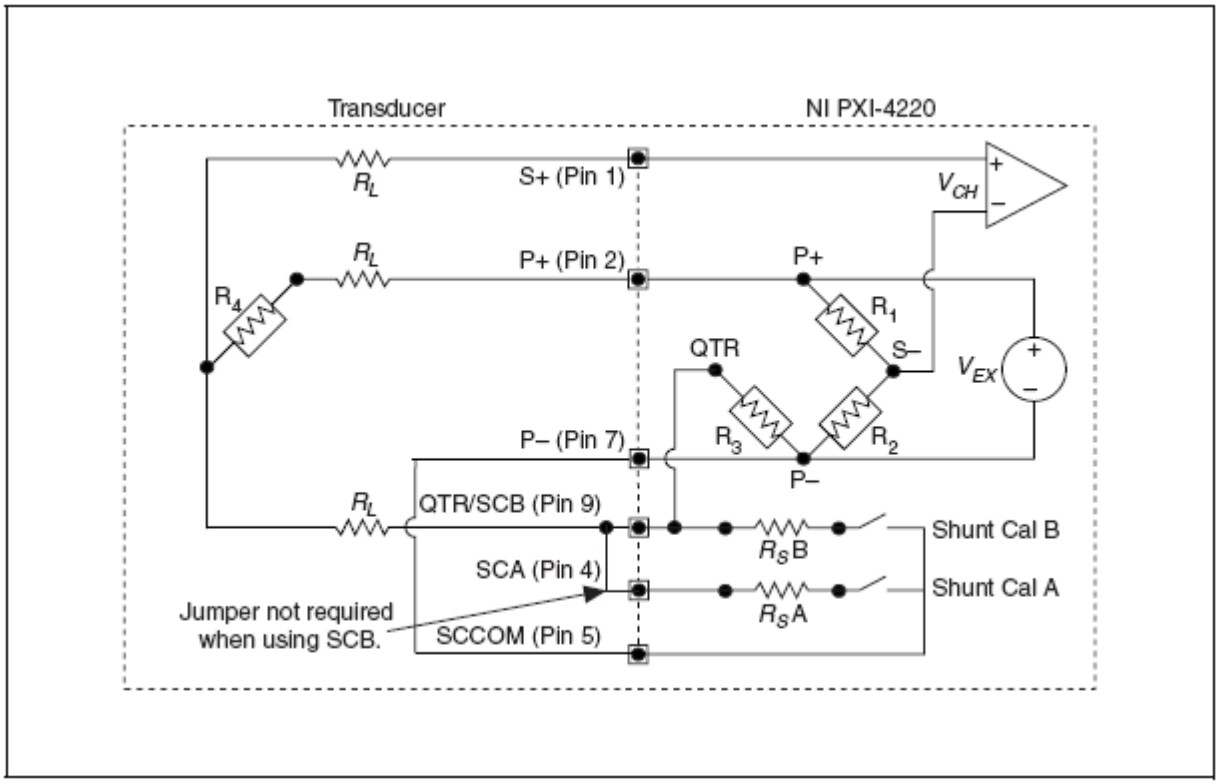



**Рисунок 2-4.** Четвертьмостовая тензометрическая схема (тип I)

Transducer – датчик; Jumper not required when using SCB – перемычка не нужна при использовании SCB; Shunt Cal A – калибровочный шунт A; Shunt Cal B – калибровочный шунт B

На принципиальной схеме и в уравнениях применяются следующие обозначения:

- $R_1$ и $R_2$ – дополняющие резисторы для полумостовой схемы.
- $R_3$ – дополняющий (нагрузочный) резистор для четвертьмостовой схемы.
- $R_4$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию растяжения (+ε).
- $V_{EX}$ – напряжение питания моста.
- $R_L$ – сопротивление соединительной линии.
- $V_{CH}$ – измеряемое выходное напряжение моста.
- $R_S A$ – сопротивление калибровочного шунта A.
- $R_S B$ – сопротивление калибровочного шунта B.

**Примечание:** Значение резистора $R_3$, дополняющего четверть мостовой датчик, должно быть равным номинальному сопротивлению тензочувствительного элемента. NI рекомендует использовать резистор с допуском 0.1%. При использовании резистора меньшей точности калибровка по компенсации смещения нуля выполняется неточно. Дополнительная информация приведена в разделе *Компенсация смещения нуля* главы 4, *Принцип действия*.

## Четвертьмостовая схема (тип II)

В настоящем разделе приведена информация о подключении четвертьмостовой тензометрической схемы (тип II), которая показана на рисунке 2-5. Дополнительная информация приведена в разделе *Четвертьмостовая схема типа II* главы 4, *Принцип действия*.

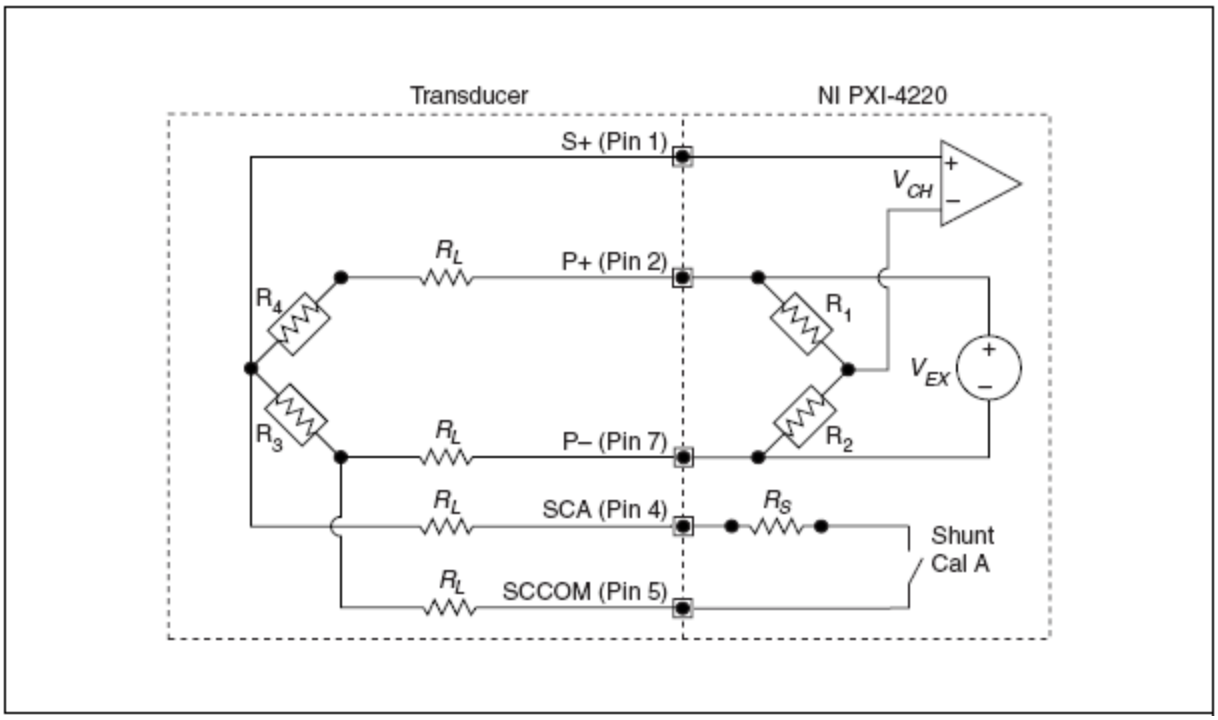



**Рисунок 2-5.** Четвертьмостовая тензометрическая схема (тип II)

Transducer – датчик; Shunt Cal A – Калибровочный резистор (шунт) A

На принципиальной схеме и в уравнениях применяются следующие обозначения:

- $R_1$ и $R_2$ – дополняющие резисторы для полумостовой схемы.
- $R_3$ – дополняющий (нагрузочный) резистор для четвертьмостовой схемы.
- $R_4$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию растяжения (+ε).
- $V_{EX}$ – напряжение питания моста.
- $R_L$ – сопротивление соединительной линии.

- $V_{CH}$ – измеряемое выходное напряжение моста.
- $R_S$ – сопротивление калибровочного шунта А.

**Примечание:** Четвертьмостовую схему (тип II) часто путают с более распространенной полумостовой схемой (тип I). Дополнительная информация приведена в разделе *Четвертьмостовая схема типа II* и *Полумостовая схема типа I* главы 4, *Принцип действия*.

## Полумостовая схема (тип I)

В настоящем разделе приведена информация о подключении полумостовой тензометрической схемы (тип I), которая показана на рисунке 2-6. Дополнительная информация приведена в разделе *Полумостовая схема типа I* главы 4, *Принцип действия*.

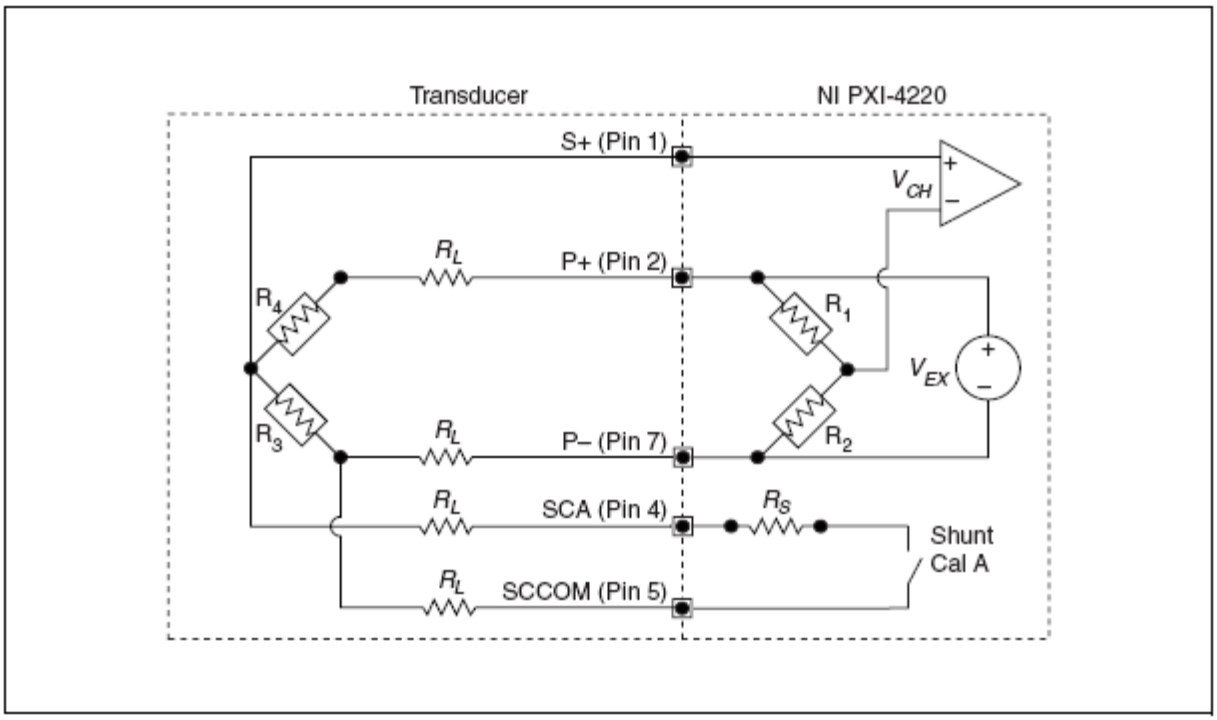



**Рисунок 2-6.** Полумостовая тензометрическая схема (тип I)

Transducer – датчик; Shunt Cal A – калибровочный резистор (шунт) А

На принципиальной схеме и в уравнениях применяются следующие обозначения:

- $R_1$ и $R_2$ – дополняющие резисторы для полумостовой схемы.
- $R_3$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию сжатия, обусловленную эффектом Пуассона ($-\nu\varepsilon$).
- $R_4$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию растяжения ($+\varepsilon$).
- $V_{EX}$ – напряжение питания моста.
- $R_L$ – сопротивление соединительной линии.
- $V_{CH}$ – измеряемое выходное напряжение моста.

- $R_S$ – сопротивление калибровочного шунта А.

## Полумостовая схема (тип II)

В настоящем разделе приведена информация о подключении полумостовой тензометрической схемы (тип II), которая показана на рисунке 2-7. Дополнительная информация приведена в разделе *Полумостовая схема типа II* главы 4, *Принцип действия*.

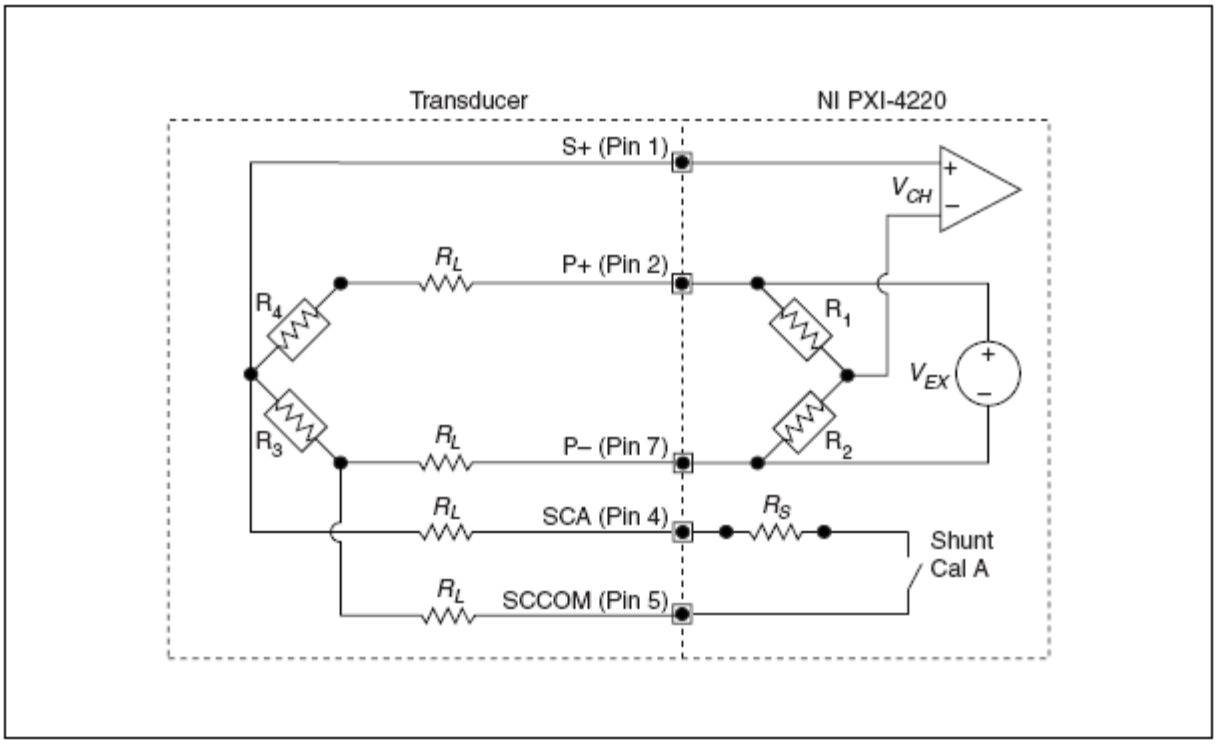



**Рисунок 2-7**. Полумостовая тензометрическая схема (тип II)

Transducer – датчик; Shunt Cal A – калибровочный резистор (шунт) А

На принципиальной схеме и в уравнениях применяются следующие обозначения:

- $R_1$ и $R_2$ – дополняющие резисторы для полумостовой схемы.
- $R_3$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию сжатия, обусловленную эффектом Пуассона ($-\nu\varepsilon$).
- $R_4$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию растяжения ($+\varepsilon$).
- $V_{EX}$ – напряжение питания моста.
- $R_L$ – сопротивление соединительной линии.
- $V_{CH}$ – измеряемое выходное напряжение моста.
- $R_S$ – сопротивление калибровочного шунта А.

## Полномостовая схема (тип I)

В настоящем разделе приведена информация о подключении полномостовой тензометрической схемы (тип I), которая показана на рисунке 2-8. Дополнительная информация приведена в разделе *Полномостовая схема типа I* главы 4, *Принцип действия*.

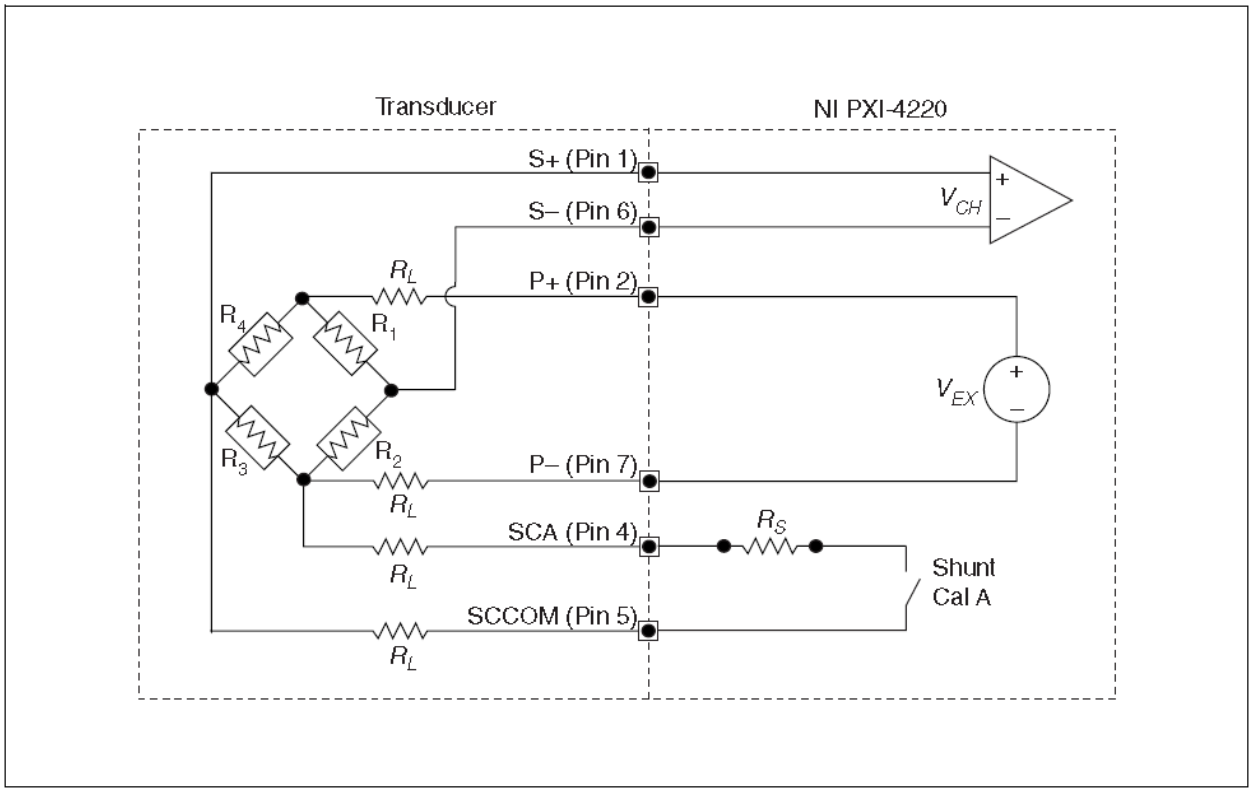



**Рисунок 2-8.** Полномостовая тензометрическая схема (тип I)

Transducer – датчик; Shunt Cal A – калибровочный резистор (шунт) A

- $R_1$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию сжатия (–ε).
- $R_2$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию растяжения (+ε).
- $R_3$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию сжатия (–ε).
- $R_4$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию растяжения (+ε).
- $V_{EX}$ – напряжение питания моста.
- $R_L$ – сопротивление соединительной линии.
- $V_{CH}$ – измеряемое выходное напряжение моста.
- $R_S$ – сопротивление калибровочного шунта A.

## Полномостовая схема (тип II)

В настоящем разделе приведена информация о подключении полномостовой тензометрической схемы (тип II), которая показана на рисунке 2-9. Дополнительная информация приведена в разделе *Полномостовая схема типа II* главы 4, *Принцип действия*.

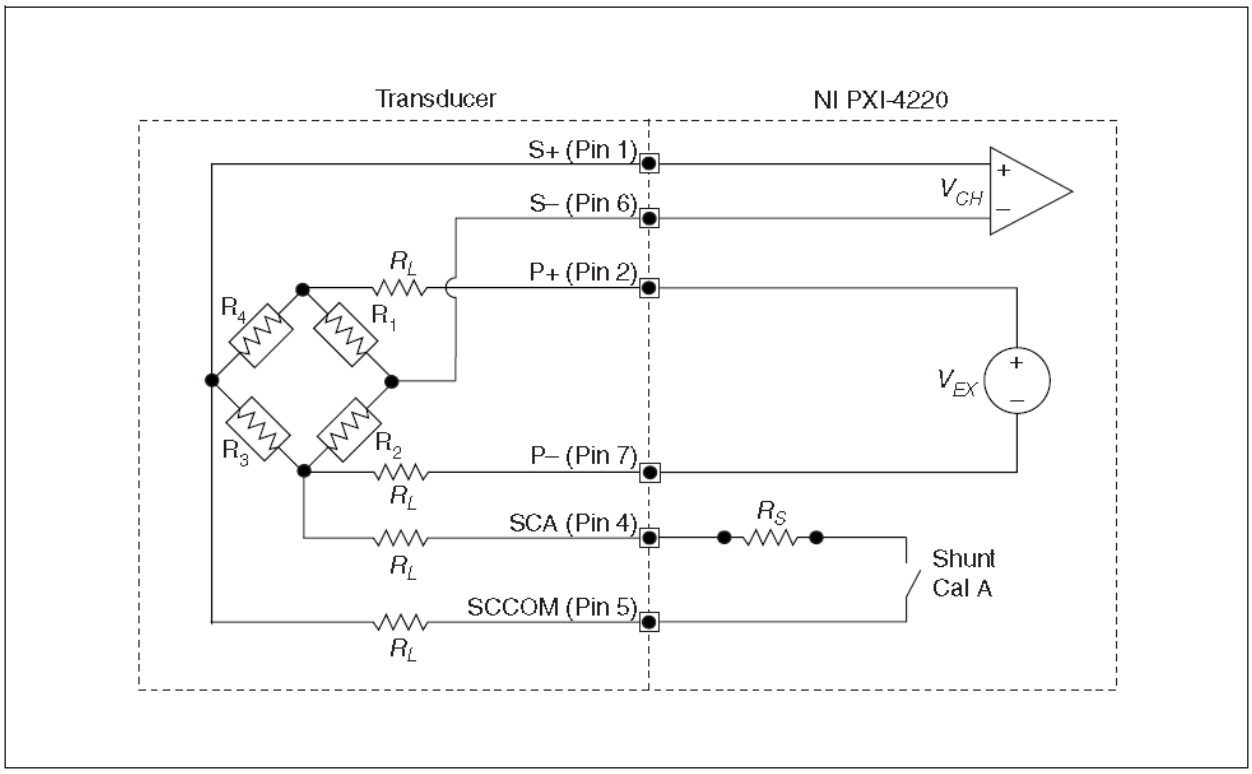



**Рисунок 2-9**. Полномостовая тензометрическая схема (тип II).

Transducer – датчик; Shunt Cal A – калибровочный резистор (шунт) A

- $R_1$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию сжатия, обусловленную эффектом Пуассона (–νε).
- $R_2$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию растяжения, обусловленную эффектом Пуассона (+νε).
- $R_3$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию сжатия (–ε).
- $R_4$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию растяжения (+ε).
- $V_{EX}$ – напряжение питания моста.
- $R_L$ – сопротивление соединительной линии.
- $V_{CH}$ – измеряемое выходное напряжение моста.
- $R_S$ – сопротивление калибровочного шунта A.

## Полномостовая схема (тип III)

В настоящем разделе приведена информация о подключении полномостовой тензометрической схемы (тип III), которая показана на рисунке 2-10. Этот тип подключения предназначен для измерения только продольной деформации. Дополнительная информация приведена в разделе *Полномостовая схема типа III* главы 4, *Принцип действия*.

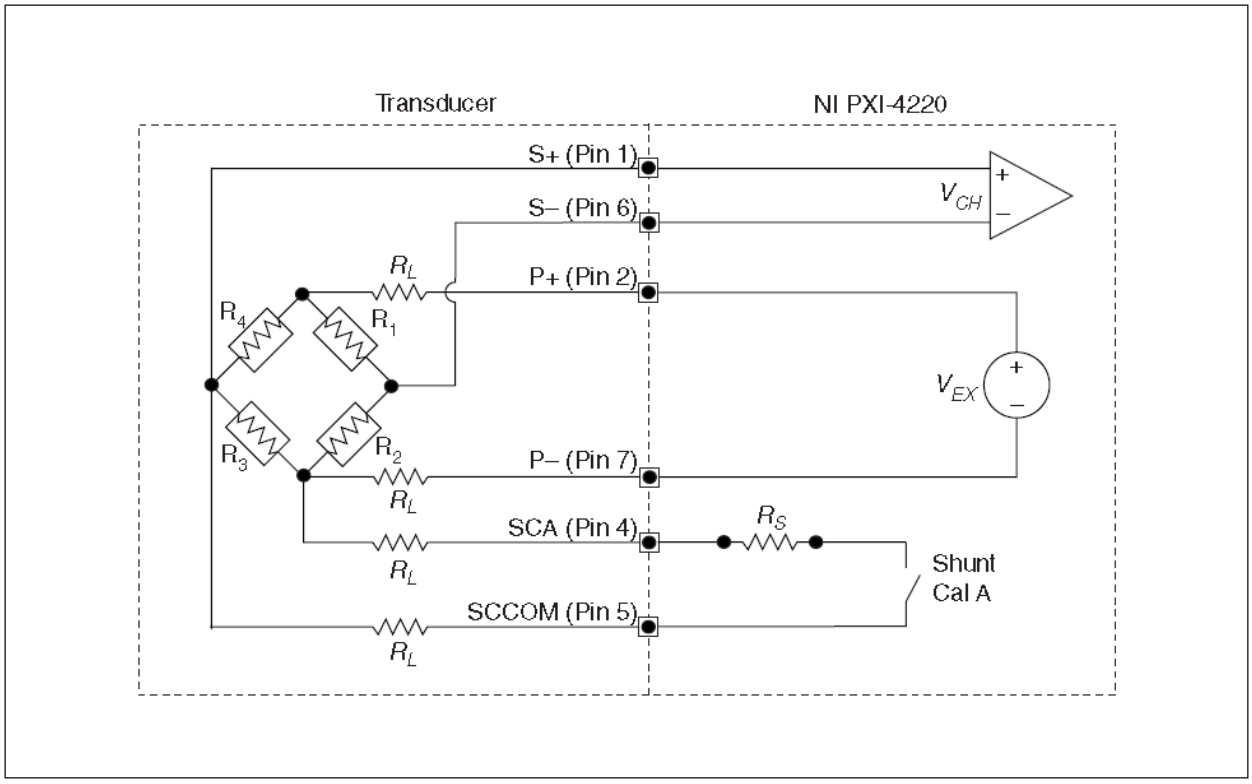



**Рисунок 2-10**. Полномостовая тензометрическая схема (тип III)

Transducer – датчик; Shunt Cal A – калибровочный резистор (шунт) A

- $R_1$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию сжатия, обусловленную эффектом Пуассона ($-\nu\varepsilon$).
- $R_2$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию растяжения, обусловленную эффектом Пуассона ($+\nu\varepsilon$).
- $R_3$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию сжатия ($-\varepsilon$).
- $R_4$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию растяжения ($+\varepsilon$).
- $V_{EX}$ – напряжение питания моста.
- $R_L$ – сопротивление соединительной линии.
- $V_{CH}$ – измеряемое выходное напряжение моста.
- $R_S$ – сопротивление калибровочного шунта A.

## Дистанционные измерения

Для измерений с использованием удаленного датчика подключите NI PXI-4220 по схеме, изображенной на рисунке 2-11. Дополнительная информация о подключении удаленных датчиков приведена в разделе *Сигнал удаленной цепи обратной связи* главы 4, *Принцип действия*. Применение такой схемы подключения модуля NI PXI-4220 рекомендуется для правильной подстройки напряжения питания, $V_{EX}$, приложенного к сенсору.

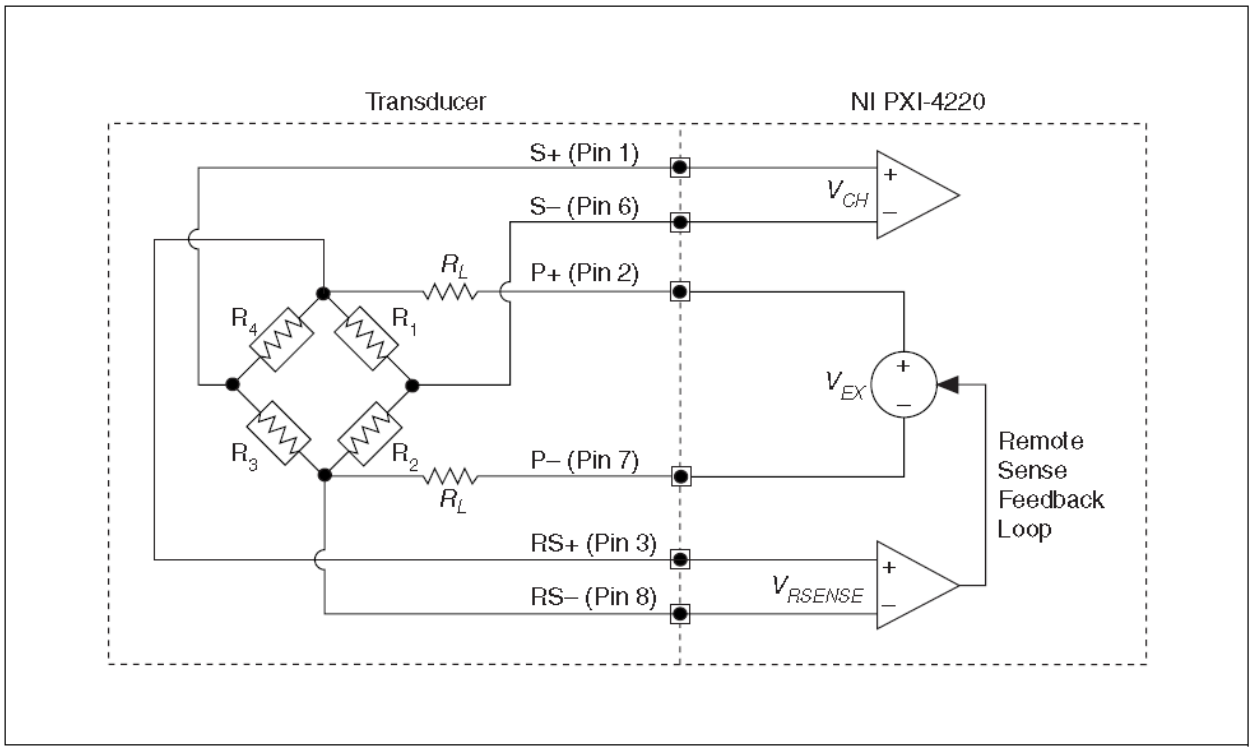



**Рисунок 2-11**. Схема подключения удаленного датчика

Transducer – датчик; $V_{RSENSE}$ – напряжение питания на удаленном датчике; Remote Sense Feedback Loop – сигнал обратной связи с удаленного датчика

**Примечание:** Для упрощения дистанционное восприятие иллюстрируется на полномостовой схеме. Однако в общем случае контакт $V_{RSENSE}$ должен подключаться к датчику в точке подачи питания $V_{EX}$. Например, необходимо соединять RSX+ (контакт 3) с PX+ (контакт 2) и RSX- (контакт 8) с PX- (контакт 7) на датчике.

# 3

# Конфигурирование и тестирование

В этой главе подробно рассматривается конфигурирование модуля NI PXI-4220 с помощью программы MAX. В MAX можно использовать тестовые панели для проверки функционирования устройств и подключения сигналов. MAX позволяет достаточно просто создавать, конфигурировать и тестировать задачи **NI-DAQmx Tasks** и глобальные каналы **NI-DAQmx Global Channels** для управления и конфигурирования модуля NI PXI-4220.

## Проверка и самоконтроль с помощью тестовых панелей

После успешной установки модуля NI PXI-4220, проверки корректности инсталляции и подключения сигналов используйте тестовые панели NI PXI-4220 для контроля способности выполнять правильности измерений.

Тестовые панели позволяют измерять сигналы, подключенные к модулю NI PXI-4220, а также настраивать некоторые параметры режимов измерений. Чтобы открыть тестовые панели из MAX, выполните следующие действия:

1. Щелчком по + рядом с иконкой **Devices and Interfaces** раскройте список устройств и интерфейсов.
2. Щелчком по + рядом с иконкой **NI-DAQmx Devices** раскройте список устройств **NI-DAQmx**.
3. Щелкните по пункту **PXI-4220**.
4. Щелкните по кнопке **Test Panels** на панели инструментов устройства.
5. Сконфигурируйте доступные на экране параметры и щелкните по кнопке **Start** для выполнения измерений.

Для измерений с масштабированием отсчетов, конфигурирования свойства канала и параметров синхронизации используйте задачи **NI-DAQmx Tasks** и глобальные каналы **NI-DAQmx Global Channels**.

## Программное конфигурирование модуля NI PXI-4220

В настоящем разделе описывается, как выбрать конфигурацию моста, задать напряжение питания, полосу пропускания фильтра и коэффициента усиления/диапазона входного сигнала, а также, как использовать конфигурационные утилиты MAX для программной компенсации смещения нуля и калибровки с помощью шунта. Здесь также описывается, как выполнять эти же настройки модуля NI PXI-4220 в NI-DAQmx. Для

получения дополнительной информации о влиянии настроек на измерения и о конфигурировании в разрабатываемых приложениях обратитесь к главе 5, *Разработка приложений*.

## Общие программные настройки

В этом разделе описываются наиболее часто используемые программные настройки модуля NI PXI-4220.

### Конфигурирование и дополнение мостовых схем

Конфигурирование моста – это программная настройка, позволяющая подключать датчики по четвертьмостовой, полумостовой схемам и схеме полного моста. Дополнительная информация приведена в главе 4, *Принцип действия*.

### Уровень напряжения питания

Программная настройка уровня напряжения питания позволяет установить значение напряжения питания на контактах 2 и 7 в диапазоне от 0 до 10 В. Чтобы предотвратить перегрев модуля, воспользуйтесь допустимыми значениями напряжения питания, приведенными в таблице 3-1 для номинальных сопротивлений датчиков:

В таблице 3-1 приведены предельно допустимые напряжения питания для стандартных конфигураций моста и номинальных сопротивлений. Для других сопротивлений моста максимально допустимое напряжение питания определяйте по формуле:

$$\max(V_{EX}) = R_P \cdot 29mA$$

где $R_P$ – сопротивление моста между зажимами питания моста.

Дополнительная информация о питании мостовых схем приведена в главе 4, *Принцип действия*.

Таблица 3-1. **Напряжение питания для разных конфигураций и сопротивлений датчика**

| **Конфигурация/Датчик** | **Сопротивление** | **Диапазон напряжений питания (NI-DAQmx)** |
|---|---|---|
| 1/4 или 1/2 моста | 120 Ом | ≤6.950 В |
| | 350 Ом | от 0 до 10 В |
| | 1000 Ом | от 0 до 10 В |
| Полный мост или мостовой датчик с четырьмя рабочими плечами | 120 Ом | ≤3.475 В |
| | 350 Ом | от 0 до 10 В |
| | 1000 Ом | от 0 до 10 В |

## Полоса пропускания фильтра

Программная настройка полосы пропускания фильтра позволяет выбрать одно из значений частоты среза фильтра нижних частот (ФНЧ): 10 Гц, 100 Гц, 1 кГц, 10 кГц, либо отключить фильтр. Если фильтр отключен, полоса пропускания модуля равна 20 кГц. Дополнительная информация о фильтрации приведена в главе 4, *Принцип действия*.

## Коэффициент усиления/Диапазон входного сигнала

Параметр коэффициента усиления/диапазона входного сигнала определяет коэффициент передачи схемы кондиционирования сигнала и диапазон входного сигнала дигитайзера. Программная настройка этого параметра позволяет подобрать такой коэффициент усиления, который позволяет полностью охватить диапазон входных сигналов канала преобразования модуля NI PXI-4220. В большинстве приложений драйвер NI DAQ устанавливает коэффициент усиления, соответствующий заданному диапазону входных сигналов. Дополнительная информация приведена в главе 4, *Принцип действия*. Другими словами, вы должны определить соответствующий коэффициент усиления, используя диапазон напряжений входного сигнала и допустимые пределы выходного напряжения схемы кондиционирования сигнала модуля NI PXI-4220.

## Регуляторы компенсации смещения нуля

Программная грубая и точная регулировка компенсации смещения нуля позволяют убирать нежелательное напряжение смещения. В большинстве случаев вместо того, чтобы «вручную» регулировать потенциометры, вы можете доверить программному драйверу сделать это автоматически. Однако, если вы хотите выполнить регулировку сами, можете разработать прикладную программу компенсации смещения нуля. Дополнительная информация приведена в главе 4, *Принцип действия*.

## Ключи для включения/отключения калибровочных шунтов

Для калибровки коэффициента усиления предусмотрено программное управление ключами A и B, с помощью которых включаются или отключаются калибровочные резисторы (шунты). В большинстве случаев вместо ручного управления ключами вы можете разрешить программному драйверу автоматическое управление ими в процессе процедуры автоматической калибровки. Однако, если вы хотите управлять ключами непосредственно, то можете сами написать для этого прикладную программу. Дополнительная информация приведена в главе 4, *Принцип действия*.

**Примечание:** Калибровка по нулевому значению осуществляется автоматически, если калибровка с использованием шунта выполняется с помощью драйвера NI-DAQ. За более подробной информацией об использовании шунтов при калибровке с помощью драйвера обратитесь к

главе 4, *Принцип действия*.

### Синхронная выборка и хранение

Если необходимо измерять два или более сигналов в один и тот же момент времени, требуется синхронная выборка и хранение (СВХ). К типичным приложениям, где может потребоваться режим СВХ, относятся измерения вибрации и разности фаз. Если нужны частоты сканирования (опроса) каналов, которые превышают предельно допустимые значения для СВХ, вы можете запретить этот режим из своего приложения. NI рекомендует оставлять режим СВХ разрешенным. Запрет синхронной выборка и хранения приводит к небольшому увеличению напряжения смещения. Это смещение можно скомпенсировать, выполнив калибровку по нулевой точке. Дополнительная информация о включении/отключении режима СВХ приведена в главе 5, *Разработка приложений*.

## Конфигурирование с помощью MAX

**Примечание:** Если Вы будете использовать системы проектирования других компаний, а не National Instruments, работать с системами проектирования National Instruments более ранних версий, чем 7.0, или будете пользоваться нелицензированными копиями текущих версий, утилита NI License Manager будет открывать дополнительные диалоговые окна, в которых можно создавать задачи или глобальные каналы в нелицензированном режиме. Эти окна с сообщениями будут появляться до тех пор, пока вы не установите лицензионную среду разработки NI версии 7.0 и выше.

С помощью утилиты MAX можно конфигурировать процесс измерения с использованием датчиков мостового типа. Далее описывается, как можно изменять каждую программную настройку из доступных в MAX.

### NI-DAQmx

NI-DAQmx позволяет конфигурировать такие программные настройки, как конфигурация моста, уровень напряжения питания, полоса пропускания фильтра, диапазон входных сигналов/коэффициент усиления, а также настройки калибровки следующими способами:

- С использованием задачи **NI-DAQmx Task** или глобального канала **Global Channel** в MAX
- С использованием функций разрабатываемого приложения

**Примечание:** Не все программные настройки могут быть выполнены только в разрабатываемом приложении. В этом разделе рассматривается только конфигурирование с помощью MAX. Информация по конфигурированию с помощью функций внутри приложения приведена в главе 5, *Разработка приложений*.

В следующих разделах описывается, какие настройки можно изменять с помощью MAX, и где они находятся. «Измерение деформации» и «Измерение напряжения на выходе измерительной цепи, на которую подается питание» – типы задач (**NI-DAQmx Task**) и глобальных каналов (**NI-DAQmx Global Channel**), наиболее часто используемые при работе с модулем PXI-4420. Задачу или глобальный канал **Custom Voltage with Excitation NI-DAQmx** (Измерение напряжения на выходе измерительной цепи, на которую подается питание) следует применять при измерении выходных напряжений мостовых датчиков веса, силы, момента, давления и т.п.

- Bridge Configuratio (Конфигурация моста) – настраивается на закладке **NI-DAQmx Task** или **NI-DAQmx Global Channel**, а также функциями создаваемого приложения. По умолчанию в NI-DAQmx задана конфигурация «полный мост».
- Voltage Excitation (Напряжение питания) задается в задаче **NI-DAQmx Task** или в канале **NI-DAQmx Global Channel**. Вы можете также устанавливать его уровень в создаваемом приложении. В NI-DAQmx можно выбрать напряжение питания из ряда значений в диапазоне от 0 до 10 В с малым шагом. По умолчанию установлено напряжение 0 В.
- Lowpass Filter Cutoff Frequency (Частота среза низкочастотного фильтра) – настраивается на закладке **Device** задачи **NI-DAQmx Task** или глобального канала **NI-DAQmx Global Channel**. Значение полосы пропускания можно также установить в создаваемом приложении. По умолчанию в NI-DAQmx задана частота среза 10 кГц.
- Input Range (Диапазон входного сигнала) – настраивается в задаче **NI-DAQmx Task** или в глобальном канале **NI-DAQmx Global Channel**. Когда вы устанавливаете минимальный и максимальный диапазон для задачи или глобального канала, драйвер выбирает наиболее подходящий для данного измерения коэффициент усиления, который можно также установить в создаваемом приложении.
- Calibration Settings (Настройки калибровки) – настройки потенциометров компенсации нуля и ключей управления включением/отключением калибровочных шунтов выполняются только в задаче **Strain NI-DAQmx Task**, в глобальном канале **Strain NI-DAQmx Global Channel** или в создаваемом приложении я. Задача **Custom Voltage with Excitation NI-DAQmx Task** или глобальный канал **NI-DAQmx Global Channel** не позволяют настраивать режим калибровки в MAX. В этом случае настройка калибровки должна выполняться в создаваемом приложении. По умолчанию потенциометры установлены в средние положения: потенциометр грубой настройки – в положение 62, а потенциометр точной настройки – в положение 2,047. По умолчанию ключи калибровки находятся в разомкнутом состоянии, при этом калибровочные шунты отключены от схемы.

**Примечание:** Информация о последующем конфигурировании NI PXI-4220, а также об использовании LabVIEW для конфигурирования и измерений приведена в главе 5, *Разработка приложений*.

## Создание глобального тензометрического канала или задачи

Для создания нового глобального тензометрического канала или задачи NI-DAQmx выполните следующие действия:

1. Щелкните два раза левой кнопкой мыши по иконке **Measurement & Automation** на рабочем столе.
2. Щелчком правой кнопкой мыши по строке **Data Neighborhood** выберите команду **Create New** (Создать).
3. Выберите **NI-DAQmx Task** (задача) или **NI-DAQmx Global Channel** (канал) и нажмите на кнопку **Next** (Далее).
4. Выберите **Analog Input** (Аналоговый ввод), а затем **Strain** (Деформация).
5. Если вы создаете задачу, оставьте выбранным пункт **Create New Local Channels** и выберите каналы, добавляемые в задачу. Вы можете выбрать блок каналов, удерживая нажатой клавишу <Shift> во время выбора или выбрать отдельные каналы, удерживая нажатой клавишу <Ctrl>. Если Вы создаете глобальный канал, выбрать можно только один канал. Щелкните по кнопке **Next**.
6. Задайте имя задачи или канала и щелкните по кнопке **Finish**.
7. В окне **Channel List** выберите канал/каналы, которые хотите сконфигурировать. Можно выбрать блок каналов, удерживая нажатой во время выбора клавишу <Shift> или несколько отдельных каналов, удерживая нажатой клавишу <Ctrl>.
8. Введите значения параметров для вашего приложения на закладке **Settings**. Контекстная справка для каждого параметра приведена в правой части экрана.
9. Перейдите на закладку **Device** (устройство) и выберите режим автоматической компенсации нуля, а также частоту среза ФНЧ.

**Примечание:** Для большинства приложений с модулем NI PXI-4220 параметр режима автоматической компенсации нуля необходимо установить в значение **None** (Нет). Автоматическая компенсация нуля не нужна при использовании датчиков относительных значений, таких, как тензомосты. При автоматической компенсации нуля производится программная компенсация смещения напряжения схемы кондиционирования и аналого-цифрового преобразователя, но не датчика, и поэтому не способствует снижению погрешности от смещения нуля моста.

10. Убедитесь в том, что в списке **Channel List** вы выбрали тензометрический канал/каналы, который хотите откалибровать. Затем щелкните по кнопке **Calibration** (Калибровка) для компенсации смещения нуля и калибровки каналов.
11. В открывшемся окне можно разрешить или нет компенсацию смещения нуля и/или калибровку с использованием шунта, а затем введите значение сопротивления калибровочного шунта. Щелкните по кнопке **Next**.

12. В окне **Measure and Calibrate** (Измерение и калибровка) отображается информация, относящаяся именно к тензометрическому каналу/каналам. Для получения сигнала с тензометрического канала/каналов щелкните по кнопке **Measure** (Измерение), а для сброса параметров в состояние по умолчанию по кнопке **Reset Data** (Сброс данных). Для калибровки тензометрического канала/каналов щелкните по кнопке **Calibrate**. После завершения калибровки щелкните по кнопке **Finish**.

**Примечание:** Для компенсации смещения нуля четвертьмостовой схемы и калибровки ее с помощью шунта значение сопротивления дополняющего резистора должно быть равно номинальному сопротивлению тензорезистора.

13. Если Вы создаете задачу и хотите настроить управление синхронизацией и запуском, введите соответствующие значения на закладках **Task Timing** (Синхронизация задачи) и **Task Triggering** (Запуск задачи).

## Создание глобального канала или задачи измерения напряжения на выходе измерительной цепи, на которую подается питание

При использовании мостовых датчиков нагрузки, силы, момента, давления и т.п. создайте задачу **Custom Voltage with Excitation NI-DAQmx Task** или глобальный канал **Custom Voltage with Excitation NI-DAQmx Global Channel**, для чего выполните следующие действия:

1. Щелкните дважды левой кнопкой мыши по иконке **Measurement & Automation** на рабочем столе.
2. Щелчком правой кнопкой мыши по строке **Data Neighborhood** выберите команду **Create New** (Создать).
3. Выберите **NI-DAQmx Task** (задача) или **NI-DAQmx Global Channel** (канал) и щелкните по кнопке **Next** (Далее).
4. Выберите **Analog Input** (Аналоговый ввод), а затем **Custom Voltage with Excitation** (Измерение напряжения на выходе измерительной цепи, на которую подается питание).
5. Если вы создаете канал, то можете выбрать только один канал. Если же создаете задачу, оставьте выбранным пункт **Create New Local Channels** и выберите каналы, добавляемые в задачу. Вы можете выбрать блок каналов, удерживая нажатой клавишу <Shift> во время выбора или выбрать отдельные каналы, удерживая нажатой клавишу <Ctrl>. Щелкните по кнопке **Next**.
6. Задайте имя задачи или канала и нажмите на кнопку **Finish**.
7. В окне **Channel List** выберите канал/каналы, которые вы хотите сконфигурировать. Вы можете выбрать несколько подряд идущих каналов, удерживая клавишу <Shift> во время выбора или выбрать отдельные каналы, удерживая нажатой клавишу <Ctrl>.

8. Введите значения параметров для вашего приложения на закладке **Settings**. Контекстная справка для каждого параметра приведена в правой части экрана.
9. Перейдите на вкладку **Device** (устройство) и выберите режим автоматической компенсации нуля, а также частоту среза ФНЧ.
10. Если вы применяете специальное масштабирование, выберите команду из контекстного меню **Create New** и далее следуйте указаниям мастера.
11. Если вы создаете задачу и хотите настроить управление синхронизацией и запуском, введите соответствующие значения на закладках **Task Timing** (Синхронизация задачи) и **Task Triggering** (Запуск задачи).

# Проверка по сигналам

В настоящем разделе описывается, как выполнять измерения, используя тестовые панели, чтобы проверить подключение сигнала, конфигурацию системы и установку устройства.

## Проверка по сигналам с использованием задачи или глобального канала NI-DAQmx

Чтобы проверить модуль NI PXI-4220 по сигналам средствами NI-DAQmx, нужно выполнить следующие действия:

1. Щелкните по символу + рядом с надписью **Data Neighborhood**.
2. Щелкните по символу + рядом с надписью **NI-DAQmx Tasks**.
3. Щелкните по идентификатору задачи.
4. В списке каналов щелкните по кнопке +, чтобы добавить каналы в задачу измерения деформаций или по кнопке -, чтобы удалить каналы.
5. В открывшемся окне щелкните по символу + рядом с проверяемым модулем.
6. Выберите каналы, которые хотите проверить. Вы можете выбрать несколько подряд идущих каналов, удерживая клавишу <Shift> во время выбора или выбрать отдельные каналы, удерживая нажатой клавишу <Ctrl>. Щелкните по кнопке **OK**.
7. Введите соответствующую информацию на закладке **Settings** (Настройки).
8. Щелкните по закладке **Device** (Устройство)
9. Введите на закладке **Device** соответствующую информацию.
10. Щелкните по кнопке **Test** (Тестирование).
11. Щелкните по кнопке **Start**.
12. По окончании проверки каналов щелкните по кнопке **Stop**.

Вы проверили конфигурацию модуля NI PXI-4220 и правильность подключения источников сигнала.

**Примечание:** Более подробную информацию, в частности, по дополнительному конфигурированию модуля и проведению измерений средствами LabVIEW, вы можете узнать в главе 5, *Разработка приложений*.

# 4

# Принцип действия

В этой главе обсуждаются принципы тензометрии, теоретические основы измерений, а также вопросы синхронизации и управления.

## Теоретические основы тензометрии

В этом разделе рассматриваются вопросы классификации, подключения и масштабирования сигналов от мостовых датчиков, особое внимание уделяется тензодатчикам.

### Мосты Уитстона

Основой всех конфигураций тензометров является понятие моста Уитстона, который состоит из четырех резистивных плеч. В одно или несколько плеч могут быть включены активные чувствительные элементы. Принципиальная схема моста Уитстона приведена на рисунке 4–1.

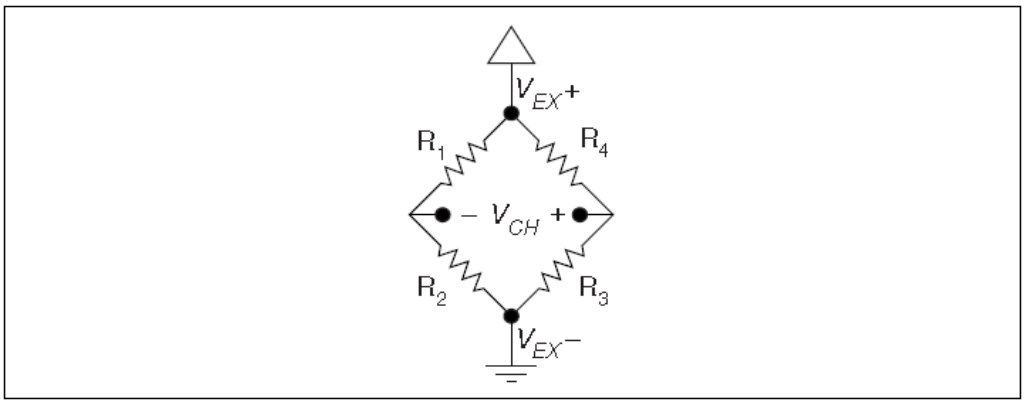



**Рисунок 4-1.** Принципиальная схема моста Уитстона

Мост Уитстона электрически эквивалентен двум параллельно включенным делителей напряжения, один из которых состоит из резисторов $R_1$ и $R_2$, а другой – из резисторов $R_4$ и $R_3$. Выходное напряжение измеряется между средними точками этих делителей.

При изменении деформации или температуры образца изменяется сопротивление чувствительных элементов, включенных по схеме моста Уитстона. Эта схема применяется при измерении малых изменений сопротивления чувствительных элементов, обусловленных изменениями физического состояния исследуемого образца.

## Тензодатчики

Конфигурации тензодатчиков различаются выполнением моста Уитстона. Датчик состоит из всех активных элементов моста Уитстона. Известны три типа конфигураций тензодатчика: 1/4 моста, 1/2 моста и полный мост. Тип конфигурации моста определяется количеством плеч моста Уитстона, в которые включены активные элементы. В таблице 4-1 приведено количество активных элементов для каждой конфигурации.

Таблица 4-1. **Конфигурации тензодатчиков**

| Конфигурация | Количество активных элементов |
|---|---|
| 1/4 моста | 1 |
| 1/2 моста | 2 |
| полный мост | 4 |

Каждая из этих конфигураций бывает нескольких типов в зависимости от ориентации активных элементов и вида измеряемой деформации. Программное обеспечение National Instruments поддерживает семь типов конфигурации мостов. Однако, при специальном программном масштабировании можно использовать все типы конфигурации моста Уитстона с любым устройством производства NI, которое поддерживает данный тип конфигурации датчика.

Поддерживаемые типы конфигураций тензодатчиков позволяют измерять как по отдельности, так и совместно, продольную деформацию и деформацию изгиба. Несмотря на то, что некоторые похожие типы конфигураций позволяют измерять деформацию кручения, программное масштабирование National Instruments их не поддерживает. Измерять деформацию кручения с помощью изделий производства NI все же можно, если вы сами создадите специальную шкалу в MAX или выполните масштабирование в программном приложении.

В настоящем документе для каждой конфигурации тензодатчика, поддерживаемой NI, рассматриваются все аспекты механики, электротехники и масштабирования.

## Сокращения, формулы и определения величин

Для всех рисунков и уравнений, приведенных в настоящем документе, справедливы следующие сокращения, формулы и определения величин:

$\varepsilon$ – измеренная деформация ($+\varepsilon$ – деформация растяжения, $-\varepsilon$ – деформация сжатия).

$\varepsilon_S$ – симулируемая деформация.

$GF$ – коэффициент тензочувствительности датчика, который должен быть указан изготовителем.

$R_g$ – номинальное сопротивление датчика, которое должно быть указано изготовителем.

$R_L$ – сопротивление соединительной линии. Если длина линий большая, $R_L$ может значительно повлиять на погрешность измерений.

$R_s$ – сопротивление калибровочного шунта.

$U$ – отношение ожидаемого значения выходного напряжения моста к напряжению питания при включенном калибровочном шунте. Параметр $U$ используется в уравнениях при симуляции деформации и определяется согласно следующему уравнению:

$$U = \frac{-R_g}{4R_s + 2R_g}$$

$\nu$ – коэффициент Пуассона, определяется как взятое со знаком минус отношение поперечной деформации к продольной деформации. Этот коэффициент является свойством материала, из которого изготовлен исследуемый образец.

$V_{CH}$ – измеренное значение выходного напряжения моста.

$V_{EX}$ – напряжение питания.

$V_r$ – отношение, используемое в уравнениях преобразования деформации в напряжение:

$$V_r = \left( \frac{V_{CH} \quad \varepsilon \neq 0 \ -V_{CH} \quad \varepsilon = 0}{V_{EX}} \right), \text{ где}$$

$V_{CH} \quad \varepsilon \neq 0$ – выходное напряжение деформированного образца,

$V_{CH} \quad \varepsilon = 0$ – выходное напряжение недеформированного образца

## Программное масштабирование и уравнения преобразования

После того, как вы измерили выходное напряжение $V_{CH}$, его можно перевести в соответствующие единицы деформации программным путем. Преобразование значения напряжения в единицы деформации выполняется автоматически с помощью тензометрической задачи или тензометрического канала, созданных в MAX. Вы можете также масштабировать напряжение «вручную» в разрабатываемом приложении с помощью уравнений преобразования, приведенных в настоящем документе для каждого типа конфигурации моста.

В заключение следует отметить, что функции перевода напряжения в единицы деформации включены в состав LabVIEW и NI-DAQmx. В

LabVIEW такая функция `Convert Strain Gauge Reading.vi` находится в субпалитре **Function»All Function»NI Measurement»Data Acquisition»Signal Conditioning**.

Названия типов конфигураций тензометрических мостов (тензомостов) в последующих разделах однозначно соответствуют вариантам конфигураций мостов в MAX, а также в LabVIEW в виртуальном приборе `Convert Strain Gauge Reading VI`.

## Quarter-Bridge Type I (1/4 моста – тип I)

В этом разделе приведена информация о 1/4–мостовой тензометрической схеме, тип конфигурации I. Мост этого типа предназначен для измерения либо продольной деформации, либо деформации изгиба. На рисунке 4-2 показано, как располагать тензорезистор при измерении и той, и другой деформации, а на рисунке 4-3 приведена схема моста этого типа конфигурации.

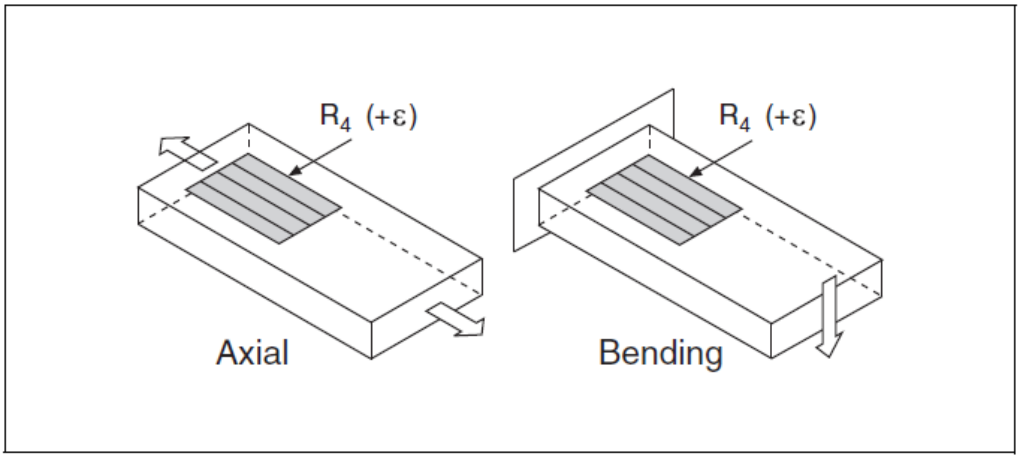



**Рисунок 4-2.** В 1/4–мостовой схеме, тип конфигурации I, измеряется продольная деформация (Axial) и деформация изгиба (Bending)

1/4–мостовая тензометрическая схема типа I имеет следующие характеристики:

- Единственный активный тензочувствительный элемент монтируется вдоль главного направления деформации, продольной или деформации изгиба.
- Требуется пассивный дополняющий резистор и дополняющий полумост.
- Вариации температуры образца приводят к увеличению погрешности измерений.
- Чувствительность при относительной деформации 1000 με примерно равна $0.5mV_{out}/V_{EX}$ (питание на входе моста)

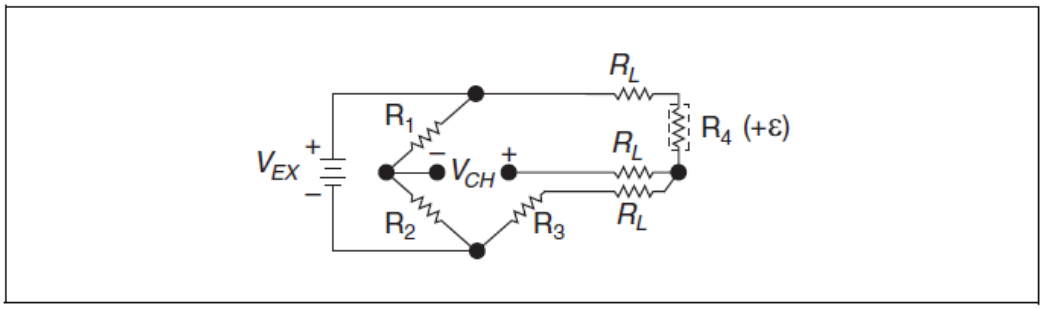



**Рисунок 4-3.** 1/4–мостовая схемы типа I

На принципиальной схеме и в последующих уравнениях применяются следующие обозначения:

- $R_1$ и $R_2$ – резисторы дополнения полумостовой схемы.
- $R_3$ – пассивный резистор дополнения четвертьмостовой схемы.
- $R_4$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию растяжения (+ε).
- $V_{EX}$ – напряжение питания моста.
- $R_L$ – сопротивление соединительной линии.
- $V_{CH}$ – измеряемое выходное напряжение моста.

Для преобразования результатов измерения напряжения в единицы измерения деформации используют следующее уравнение:

$$\varepsilon = \frac{-4V_r}{GF(1+2V_r)} \times \left(1+\frac{R_L}{R_g}\right)$$

где

- $R_g$ – номинальное сопротивление тензодатчика.
- $R_L$ – сопротивление соединительной линии.
- $GF$ – коэффициент тензочувствительности.

При симуляции эффекта деформации путем подключения резистора шунта параллельно резистору $R_3$ используется следующее уравнение:

$$\varepsilon_s = \frac{-4U}{GF\ \ 1+4U}$$

Сопротивление пассивного резистора, дополняющего четвертьмостовую схему, должно быть равно номинальному сопротивлению тензодатчика. Согласно рекомендациям NI допуск этого резистора должен быть 0.1%. При использовании резистора с большим допуском, компенсация смещения нуля выполняется неточно.

Для уменьшения погрешностей из-за температурного дрейфа, тензодатчик должен иметь коэффициент температурной коррекции, который

соответствует коэффициенту теплового расширения материала, из которого изготовлен исследуемый образец. Датчики с температурной коррекцией обладают температурной чувствительностью, которая компенсирует коэффициент теплового расширения образца. Коэффициент температурной коррекции приблизительно равен отношению изменения деформации к вызвавшему его изменению температуры, и выражается в относительных единицах деформации ($\mu\varepsilon$) на градус Фаренгейта. Если, например, образец изготовлен из алюминия, необходимо использовать датчик с коэффициентом температурной коррекции 13.0. Если образец стальной, следует применять датчик с коэффициентом температурной коррекции 6.0.

Чтобы уменьшить погрешности из-за температурного дрейфа в соединительных линиях, используйте трехпроводную схему подключения датчика, приведенную на рисунке 2-4. В линиях, присоединенных к зажимам P+ (контакт 2) и QTR/SCB (контакт 9), течет одинаковый ток, причем они находятся на противоположных сторонах одного и того же элемента моста. Таким образом, выходное напряжение $V_{CH}$ остается неизменным за счет компенсации любых изменений падения напряжения на сопротивлении соединительной линии $R_L$, обусловленных колебаниями температуры. Поскольку падение напряжения на сопротивлении соединительной линии в четвертьмостовой схеме (тип I) не компенсируется на аппаратном уровне, необходимо точно определить значение этого сопротивления и затем либо ввести его в MAX, либо подставить в уравнение, которое программным путем реализуется в прикладной программе.

Если мост откалиброван с помощью шунта или соединительные линии очень короткие (менее 10 футов – 3.05 м), то, в зависимости от схемы подключения датчика, сопротивлениями соединительных линий $R_L$ можно пренебречь. Например, сопротивление жилы медного проводника длиной 10 футов типа 24-AWG равно 0.25 Ом.

## Quarter-Bridge Type II (1/4 моста – тип II)

В этом разделе приведена информация о 1/4–мостовой тензометрической схеме, тип конфигурации II. Мост этого типа предназначен для измерения либо продольной деформации, либо деформации изгиба. На рисунке 4-4 показано, как располагать тензорезистор при измерении и той, и другой деформации, а на рисунке 4-5 приведена схема моста этого типа конфигурации.

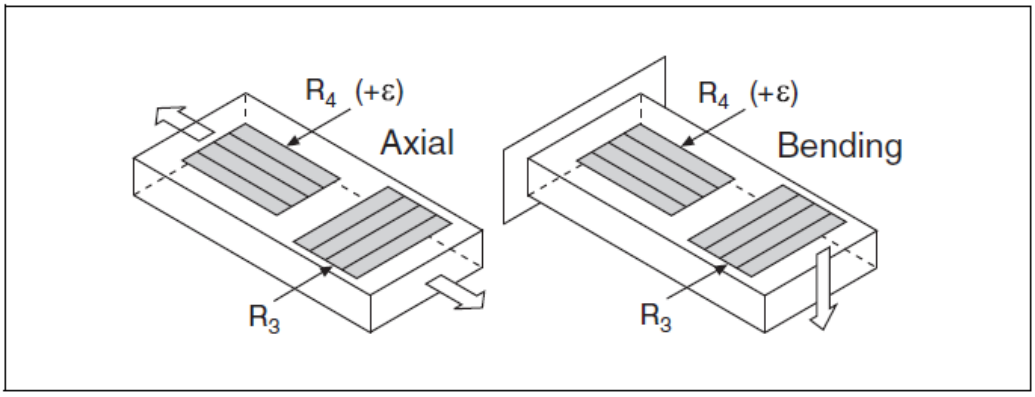



**Рисунок 4-4.** В 1/4–мостовой схеме, тип конфигурации II, измеряется продольная деформация (Axial) и деформация изгиба (Bending)

1/4–мостовая тензометрическая схема типа II обладает следующими характеристиками:

- В одно плечо включается активный тензочувствительный элемент, а в соседнее плечо – термочувствительный элемент (пассивный датчик). Тензочувствительный элемент устанавливается вдоль главного направления продольной деформации или деформации изгиба. В свою очередь, пассивный датчик обычно монтируется перпендикулярно главной оси деформации, причем он находится в тесном тепловом контакте с деформируемым образцом, но не прикреплен к нему.
- Четвертьмостовую схему, тип II, часто путают с более распространенной полумостовой схемой, тип I. Однако имеются принципиальные различия схем этих двух типов. В полумостовой схеме типа I элемент $R_3$ является активным и связан с деформируемым образцом для измерения деформации с учетом коэффициента Пуассона. В четвертьмостовой схеме типа II элемент $R_3$ необязательно связан с поверхностью образца, но должен находится в тесном тепловом контакте с деформируемым образцом или с другим элементов из того же материала и находящимся в тех же температурных условиях.
- Требуется резисторы дополнения полумоста.
- Вариации температуры образца компенсируются.
- Чувствительность при относительной деформации 1000 με примерно равна $0.5mV_{out}/V_{EX}$ (питание на входе моста)

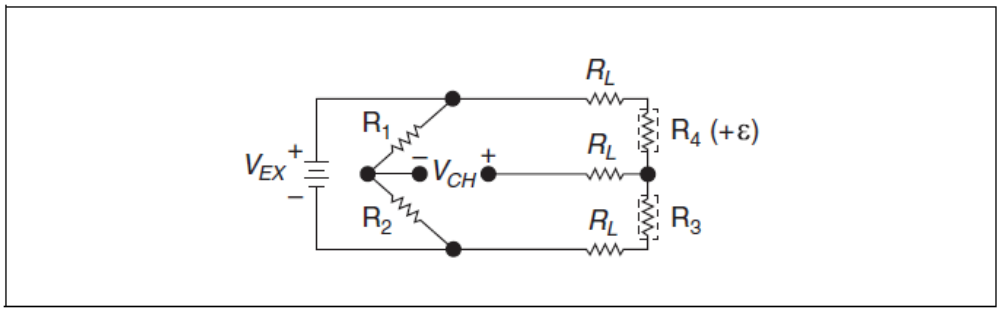



**Рисунок 4-5.** 1/4–мостовая схема типа II

На принципиальной схеме и в последующих уравнениях применяются следующие обозначения:

- $R_1$ и $R_2$ – резисторы дополнения полумостовой схемы.
- $R_3$ – термочувствительный элемент (пассивный элемент датчика).
- $R_4$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию растяжения (+ε).
- $V_{EX}$ – напряжение питания моста.
- $R_L$ – сопротивление соединительной линии.
- $V_{CH}$ – измеряемое выходное напряжение моста.

Для преобразования результатов измерения напряжения в единицы измерения деформации используют следующее уравнение:

$$\varepsilon = \frac{-4V_r}{GF(1+2V_r)} \times \left(1 + \frac{R_L}{R_g}\right)$$

где

- $R_g$ – номинальное сопротивление тензодатчика.
- $R_L$ – сопротивление соединительной линии.
- $GF$ – коэффициент тензочувствительности.

При симуляции эффекта деформации путем подключения резистора шунта параллельно резистору $R_3$ используется следующее уравнение:

$$\varepsilon_s = \frac{-4U}{GF\ \ 1+4U}$$

Пассивный элемент датчика датчик крепится на поверхности из такого же материала, что и активный датчик, однако он не должен подвергаться деформации. Температура пассивного элемента датчика должна точно отслеживать температуру активного элемента датчика.

Номинальное сопротивление пассивного датчика $R_3$ равно сопротивлению активного датчика $R_g$.

Допускается несоответствие коэффициента температурной коррекции датчиков типу материала, из которого изготовлен образец.

Как показано на рисунке 2-5, *Четвертьмостовая тензометрическая схема (тип II)*, чтобы обеспечить наименьшую погрешность калибровки используйте отдельные проводники для соединения моста с выводами калибровочного шунта SCA (контакт 4) и SCCOM (контакт 5). Не подключайте контакты SCA (контакт 4) и SCCOM (контакт 5) короткими проводниками на разъеме, если только проводники от тензомоста не имеют достаточно малую длину и низкое сопротивление.

Вы можете пренебречь сопротивлением проводников ($R_L$), если мост откалиброван с помощью шунта или соединительные линии очень короткие (менее 10 футов – 3.05 м), в зависимости от схемы подключения датчика. Например, медный проводник типа 24-AWG длиной 10 футов имеет сопротивление 0.25 Ом.

## Half-Bridge Type I (1/2 моста– тип I)

В этом разделе приведена информация о 1/2–мостовой тензометрической схеме, тип конфигурации I. Мост этого типа предназначен для измерения либо продольной деформации, либо деформации изгиба. На рисунке 4-6 показано, как располагать тензорезистор при измерении и той, и другой деформации, а на рисунке 4-7 приведена схема моста этого типа конфигурации.

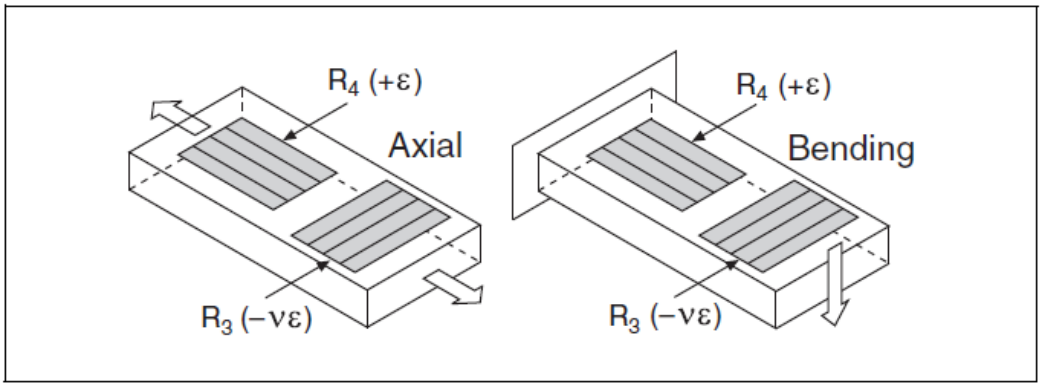



**Рисунок 4-6.** 1/2–мостовая тензометрическая схема, тип конфигурации I, измеряет продольную деформацию (Axial) и деформацию изгиба (Bending)

1/2–мостовая тензометрическая схема типа I обладает следующими характеристиками:

- Состоит из двух активных тензочувствительных элементов. Один из тензодатчиков монтируется по направлению продольной деформации, а другой – в качестве измерителя деформации с учетом коэффициента Пуассона – перпендикулярно главной оси деформации.
- Дополняющие резисторы образуют дополняющий полумост.
- Обладает чувствительностью и к продольной деформации, и к деформации изгиба.
- Компенсируются вариации температуры испытуемого образца.
- Компенсируется совокупное влияние коэффициента Пуассона для материала, из которого изготовлен образец, на измерение основной деформации.
- Чувствительность при относительной деформации 1000 με примерно равна $0.65mV_{out}/V_{EX}$ (питание на входе моста).

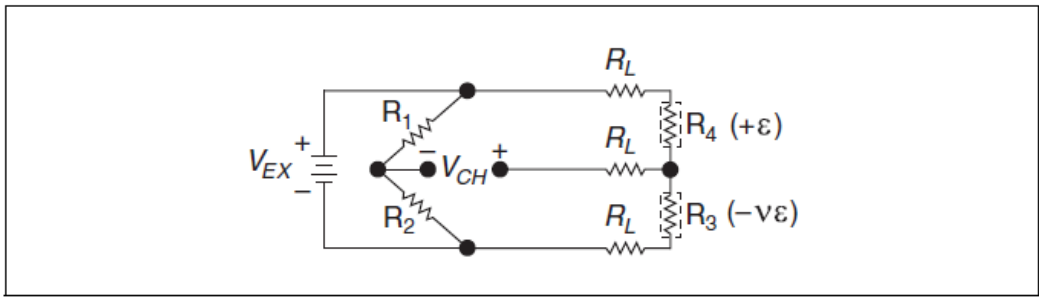



**Рисунок 4-7.** 1/2–мостовая схема типа I

На принципиальной схеме и в последующих уравнениях применяются следующие обозначения:

- $R_1$ и $R_2$ – резисторы дополнения полумостовой схемы.
- $R_3$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию сжатия с учетом коэффициента Пуассона (-νε).
- $R_4$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию растяжения (+ε).
- $V_{EX}$ – напряжение питания моста.
- $R_L$ – сопротивление соединительной линии.
- $V_{CH}$ – измеряемое выходное напряжение моста.

Для преобразования результатов измерения напряжения в единицы измерения деформации используют следующее уравнение:

$$\varepsilon = \frac{-4V_r}{GF\ \ (1+\nu) - 2V_r(\nu - 1)} \times \left(1 + \frac{R_L}{R_g}\right),$$

где

- $R_g$ – номинальное сопротивление тензодатчика.
- $R_L$ – сопротивление соединительной линии.
- ν – коэффициент Пуассона
- GF– коэффициент тензочувствительности.

При симуляции эффекта деформации путем подключения резистора шунта параллельно резистору $R_3$ используется следующее уравнение:

$$\varepsilon_s = \frac{-4U}{GF\ \ (1+\nu) - 2U(\nu - 1)}$$

**Примечания:** В данной конфигурации $R_4$ монтируется вдоль главной оси поля напряжений, а $R_3$ – перпендикулярно главной оси. Эту конфигурацию применяют в приложениях, где отсутствует напряжение вдоль оси датчика поперечной деформации.

Номинальные значения $R_3$ и $R_4$ равны $R_g$.

Коэффициент температурной коррекции тензодатчиков необязательно должен соответствовать типу материала тестируемого образца.

Как показано на рисунке 2-6, *Полумостовая тензометрическая схема (тип I)*, чтобы обеспечить наименьшую погрешность калибровки используйте отдельные проводники для соединения моста с выводами калибровочного шунта SCA (контакт 4) и SCCOM (контакт 5). Не подключайте контакты SCA (контакт 4) и SCCOM (контакт 5) короткими проводниками на разъеме, если только проводники от тензомоста не имеют достаточно малую длину и низкое сопротивление.

Вы можете пренебречь сопротивлением проводников ($R_L$), если мост откалиброван с помощью шунта или соединительные линии очень короткие (менее 10 футов – 3.05 м), в зависимости от схемы подключения датчика. Например, медный проводник типа 24-AWG длиной 10 футов имеет сопротивление 0.25 Ом.

## Half-Bridge Type II (1/2 моста – тип II)

В этом разделе приведена информация о 1/2–мостовой тензометрической схеме, тип конфигурации II. Мост этого типа предназначен только для измерения деформации изгиба. На рисунке 4-8 показано, как располагать тензорезисторы при измерении деформации изгиба, а на рисунке 4-9 приведена схема моста этого типа конфигурации.

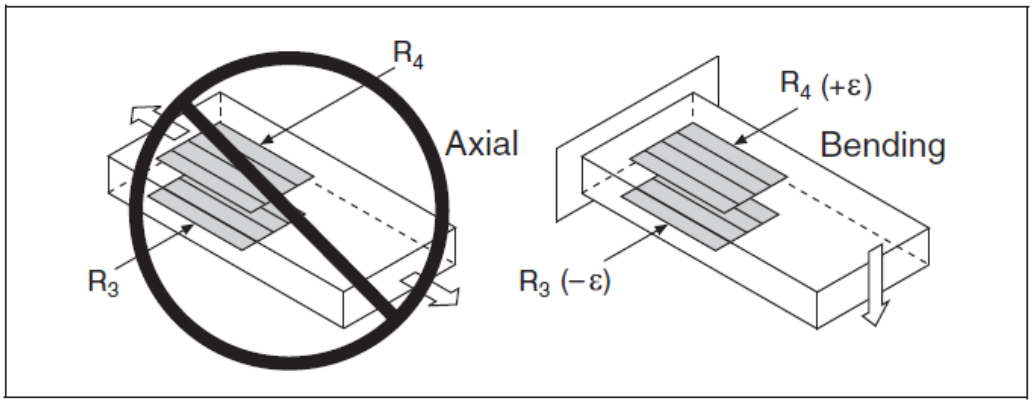



**Рисунок 4-6.** 1/2–мостовая тензометрическая схема, тип конфигурации II, измеряет деформацию изгиба (Bending), и не воспринимает продольную деформацию (Axial)

1/2–мостовая тензометрическая схема типа II обладает следующими характеристиками:

- Два активных тензометрических элемента. Один из активных элементов монтируется по направлению деформации изгиба на одной стороне деформируемого образца (сверху), а другой активный элемент – в том же направлении с противоположной стороны (снизу).
- Дополняющие резисторы образуют дополняющий полумост.

- Обладает чувствительностью к деформации изгиба.
- Не воспринимает продольную деформацию
- Компенсируются вариации температуры испытуемого образца.
- Чувствительность при относительной деформации 1000 με примерно равна $1mV_{out}/V_{EX}$ (питание на входе моста).

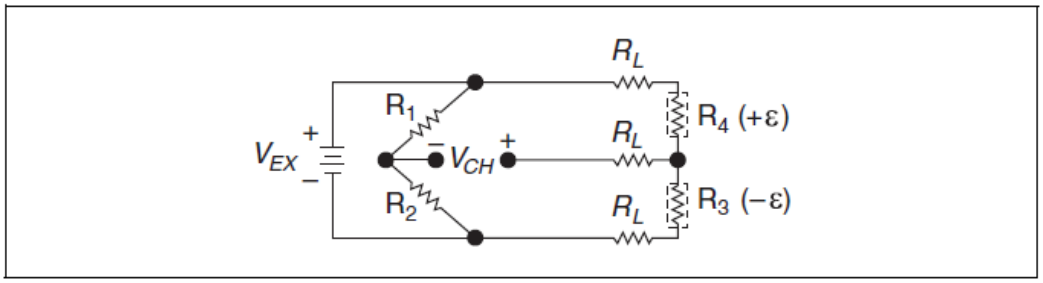



**Рисунок 4-9.** 1/2–мостовая схема типа II

На принципиальной схеме и в последующих уравнениях применяются следующие обозначения:

- $R_1$ и $R_2$ – резисторы дополнения полумостовой схемы.
- $R_3$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию сжатия с учетом коэффициента Пуассона (-νε).
- $R_4$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию растяжения (+ε).
- $V_{EX}$ – напряжение питания моста.
- $R_L$ – сопротивление соединительной линии.
- $V_{CH}$ – измеряемое выходное напряжение моста.

Для преобразования результатов измерения напряжения в единицы измерения деформации используют следующее уравнение:

$$\varepsilon = \frac{-2V_r}{GF} \times (1 + \frac{R_L}{R_g}),$$

где

- $R_g$ – номинальное сопротивление тензодатчика.
- $R_L$ – сопротивление соединительной линии.
- ν – коэффициент Пуассона
- GF– коэффициент тензочувствительности.

При симуляции эффекта деформации путем подключения резистора шунта параллельно резистору $R_3$ используется следующее уравнение:

$$\varepsilon_s = \frac{-2U}{GF}$$

**Примечания:** В полумостовой схеме типа II требуется, чтобы один тензодатчик подвергался деформации растяжения, а другой тензодатчик – деформации сжатия, равной по величине деформации растяжения. Эта конфигурация часто используется для измерения деформации изгиба, причем тензодатчики монтируются с противоположных сторон балки.

Номинальные значения $R_3$ и $R_4$ равны $R_g$.

Коэффициент температурной коррекции тензодатчиков необязательно должен соответствовать типу материала тестируемого образца.

Как показано на рисунке 2-7, *Полумостовая тензометрическая схема (тип II)*, чтобы обеспечить наименьшую погрешность калибровки используйте отдельные проводники для соединения моста с выводами калибровочного шунта SCA (контакт 4) и SCCOM (контакт 5). Не подключайте контакты SCA (контакт 4) и SCCOM (контакт 5) короткими проводниками на разъеме, если только проводники от тензомоста не имеют достаточно малую длину и низкое сопротивление.

Вы можете пренебречь сопротивлением проводников ($R_L$), если мост откалиброван с помощью шунта или соединительные линии очень короткие (менее 10 футов – 3.05 м), в зависимости от схемы подключения датчика. Например, медный проводник типа 24-AWG длиной 10 футов имеет сопротивление 0.25 Ом.

## Full-Bridge Type I (Полный мост – тип I)

В этом разделе приведена информация о полномостовой тензометрической схеме, тип конфигурации I. Мост этого типа предназначен только для измерения деформации изгиба. На рисунке 4-10 показано, как располагать тензорезисторы при измерении деформации изгиба, а на рисунке 4-11 приведена схема моста этого типа конфигурации.

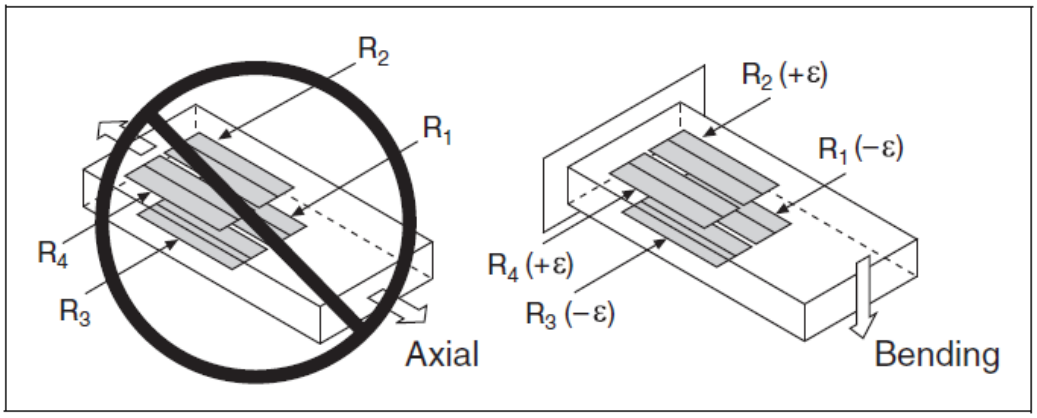



**Рисунок 4-10.** Полномостовая тензометрическая схема, тип конфигурации II, измеряет деформацию изгиба (Bending), и не воспринимает продольную деформацию (Axial)

Полномостовая тензометрическая схема типа II обладает следующими характеристиками:

- Четыре активных тензометрических элемента. Два активных элемента монтируются по направлению деформации изгиба на одной стороне деформируемого образца (сверху), а два других – в том же направлении с противоположной стороны (снизу).
- Обладает высокой чувствительностью к деформации изгиба.
- Не воспринимает продольную деформацию
- Компенсируются вариации температуры испытуемого образца.
- Обеспечивается компенсация сопротивления соединительной линии.
- Чувствительность при относительной деформации 1000 με примерно равна $20mV_{out}/V_{EX}$ (питание на входе моста).

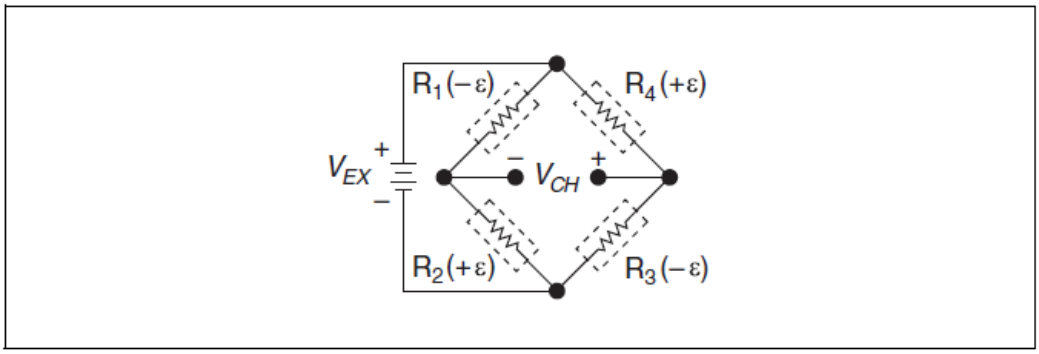



**Рисунок 4-11.** Полномостовая тензометрическая схема, тип II

На принципиальной схеме и в последующих уравнениях применяются следующие обозначения:

- $R_1$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию сжатия (-ε).
- $R_2$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию растяжения (+ε).
- $R_3$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию сжатия (-ε).
- $R_4$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию растяжения (+ε).
- $V_{EX}$ – напряжение питания моста.
- $R_L$ – сопротивление соединительной линии.
- $V_{CH}$ – измеряемое выходное напряжение моста.

Для преобразования результатов измерения напряжения в единицы измерения деформации используют следующее уравнение:

$$\varepsilon = \frac{-V_r}{GF},$$

где

*GF* – коэффициент тензочувствительности.

При симуляции эффекта деформации путем подключения резистора шунта параллельно резистору $R_3$ используется следующее уравнение:

$$\varepsilon_s = \frac{-U}{GF}$$

**Примечания:** Номинальные значения $R_1$, $R_2$, $R_3$ и $R_4$ равны $R_g$.

Коэффициент температурной коррекции тензодатчиков необязательно должен соответствовать типу материала тестируемого образца.

Как показано на рисунке 2-8, *Полномостовая тензометрическая схема (тип I)*, чтобы обеспечить наименьшую погрешность калибровки используйте отдельные проводники для соединения моста с выводами калибровочного шунта SCA (контакт 4) и SCCOM (контакт 5). Не подключайте контакты SCA (контакт 4) и SCCOM (контакт 5) короткими проводниками на разъеме, если только проводники от тензомоста не имеют достаточно малую длину и низкое сопротивление.

## Full-Bridge Type II (Полный мост – тип II)

В этом разделе приведена информация о полномостовой тензометрической схеме, тип конфигурации II. Мост этого типа предназначен только для измерения деформации изгиба. На рисунке 4-12 показано, как располагать тензорезисторы при измерении деформации изгиба, а на рисунке 4-13 приведена схема моста этого типа конфигурации.

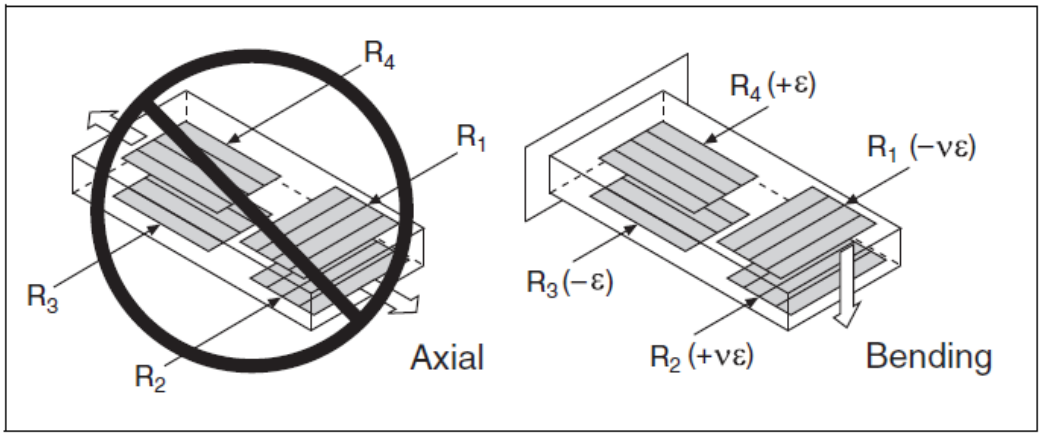



**Рисунок 4-12.** Полномостовая тензометрическая схема, тип конфигурации II, измеряет деформацию изгиба (Bending), и не воспринимает продольную деформацию (Axial)

Полномостовая тензометрическая схема типа II обладает следующими характеристиками:

- Четыре активных тензометрических элемента. Два активных элемента монтируются по направлению деформации изгиба, причем один из них

крепится на одной стороне деформируемого образца (сверху), а другой – на противоположной стороне (снизу). Остальные два элемента используются, как датчики деформации с учетом коэффициента Пуассона, и крепятся перпендикулярно к главной оси деформации, причем один из них располагается на одной стороне деформируемого образца (сверху), а другой – на противоположной стороне (снизу).

- Не воспринимает продольную деформацию
- Компенсируются вариации температуры испытуемого образца.
- Компенсируется совокупное влияние коэффициента Пуассона для материала, из которого изготовлен образец, на измерение основной деформации.
- Обеспечивает компенсацию сопротивления соединительной линии.
- Чувствительность при относительной деформации 1000 με примерно равна $1.3mV_{out}/V_{EX}$ (питание на входе моста).

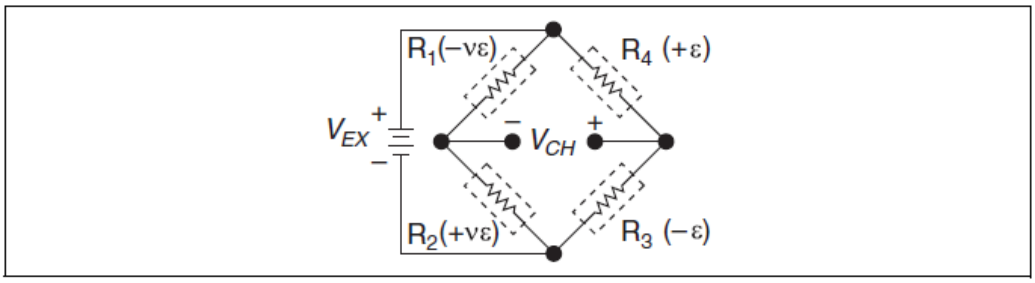



**Рисунок 4-13.** Полномостовая тензометрическая схема, тип II

На принципиальной схеме и в последующих уравнениях применяются следующие обозначения:

- $R_1$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию сжатия с учетом эффекта Пуассона (-νε).
- $R_2$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию растяжения с учетом эффекта Пуассона (+νε).
- $R_3$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию сжатия (-ε).
- $R_4$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию растяжения (+ε).
- $V_{EX}$ – напряжение питания моста.
- $R_L$ – сопротивление соединительной линии.
- $V_{CH}$ – измеряемое выходное напряжение моста.

Для преобразования результатов измерения напряжения в единицы измерения деформации используют следующее уравнение:

$$\varepsilon = \frac{-2V_r}{GF\ \ 1+\nu},$$

где

*GF* – коэффициент тензочувствительности.

ν – коэффициент Пуассона.

При симуляции эффекта деформации путем подключения резистора шунта параллельно резистору $R_3$ используется следующее уравнение:

$$\varepsilon_s = \frac{-2U}{GF\ \ 1+\nu}$$

**Примечания:** Иногда рассматриваемый мост применяется для измерения деформации изгибающихся балок. Тензорезисторы $R_3$ и $R_4$ располагаются вдоль оси балки на ее противоположных сторонах, а $R_1$ и $R_2$ располагаются поперек оси балки на ее противоположных сторонах.

Номинальные значения сопротивлений $R_1$, $R_2$, $R_3$ и $R_4$ равны $R_g$.

Коэффициент температурной коррекции тензодатчиков необязательно должен соответствовать типу материала тестируемого образца.

Как показано на рисунке 2-9, *Полномостовая тензометрическая схема (тип II)*, чтобы обеспечить наименьшую погрешность калибровки используйте отдельные проводники для соединения моста с выводами калибровочного шунта SCA (контакт 4) и SCCOM (контакт 5). Не подключайте контакты SCA (контакт 4) и SCCOM (контакт 5) короткими проводниками на разъеме, если только проводники от тензомоста не имеют достаточно малую длину и низкое сопротивление.

## Full-Bridge Type III (Полный мост – тип III)

В этом разделе приведена информация о полномостовой тензометрической схеме, тип конфигурации III. Мост этого типа предназначен для измерения только продольной деформации. На рисунке 4-14 показано, как располагать тензорезисторы при измерении продольной деформации, а на рисунке 4-15 приведена схема моста этого типа конфигурации.

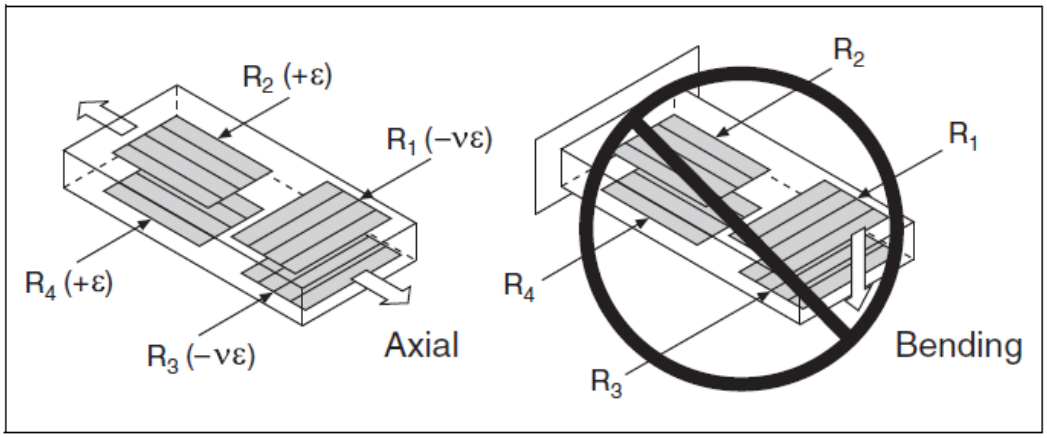


**Рисунок 4-14.** Полномостовая тензометрическая схема, тип конфигурации III, измеряет продольную деформацию изгиба (Bending), и не воспринимает деформацию изгиба (Axial)

Полномостовая тензометрическая схема типа III обладает следующими характеристиками:

- Четыре активных тензометрических элемента. Два активных элемента монтируются по направлению деформации изгиба, причем один из них крепится на одной стороне деформируемого образца (сверху), а другой – на противоположной стороне (снизу). Остальные два элемента используются, как датчики деформации с учетом коэффициента Пуассона, и крепятся перпендикулярно к главной оси деформации, причем один из них располагается на одной стороне деформируемого образца (сверху), а другой – на противоположной стороне (снизу).
- Компенсируются вариации температуры испытуемого образца.
- Не воспринимает деформацию изгиба.
- Компенсируется совокупное влияние коэффициента Пуассона для материала, из которого изготовлен образец, на измерение основной деформации.
- Обеспечивается компенсация сопротивления соединительной линии.
- Чувствительность при относительной деформации 1000 με примерно равна $1.3mV_{out}/V_{EX}$ (питание на входе моста).

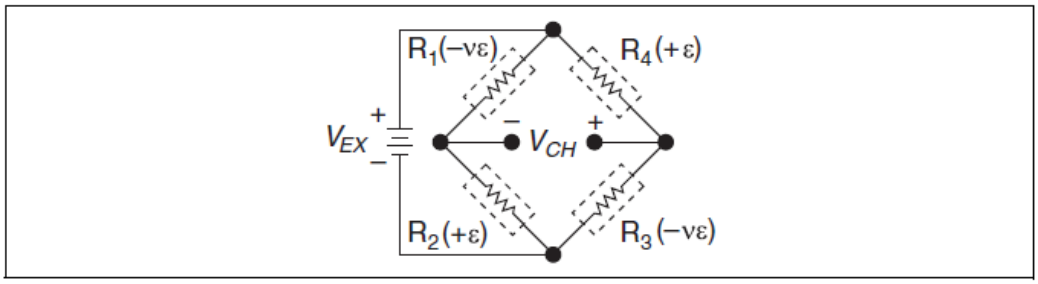



**Рисунок 4-15.** Полномостовая тензометрическая схема, тип III

На принципиальной схеме и в последующих уравнениях применяются следующие обозначения:

- $R_1$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию сжатия с учетом эффекта Пуассона (-νε).
- $R_2$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию растяжения (+ε).
- $R_3$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию сжатия с учетом эффекта Пуассона (-νε).
- $R_4$ – активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию растяжения (+ε).
- $V_{EX}$ – напряжение питания моста.
- $R_L$ – сопротивление соединительной линии.
- $V_{CH}$ – измеряемое выходное напряжение моста.

Для преобразования результатов измерения напряжения в единицы измерения деформации используют следующее уравнение:

$$\varepsilon = \frac{-2V_r}{GF\left[\ 1+\nu\ \ -V_r\ \ \nu-1\ \right]},$$

где

*GF* – коэффициент тензочувствительности.

ν – коэффициент Пуассона.

При симуляции эффекта деформации путем подключения резистора шунта параллельно резистору $R_3$ используется следующее уравнение:

$$\varepsilon_s = \frac{-4U}{GF\left[1+\nu)-U(\nu-1)\right]}$$

**Примечания:** Иногда рассматриваемый мост применяется для измерения деформации изгибающихся балок. Тензорезисторы $R_2$ и $R_4$ располагаются вдоль оси балки на ее противоположных сторонах, а $R_1$ и $R_3$ располагаются поперек оси балки на ее противоположных сторонах.

Номинальные значения сопротивлений $R_1$, $R_2$, $R_3$ и $R_4$ равны $R_g$.

Коэффициент температурной коррекции тензодатчиков необязательно должен соответствовать типу материала тестируемого образца.

Как показано на рисунке 2-10, *Полномостовая тензометрическая схема (тип III)*, чтобы обеспечить наименьшую погрешность калибровки используйте отдельные проводники для соединения моста с выводами калибровочного шунта SCA (контакт 4) и SCCOM (контакт 5). Не подключайте контакты SCA (контакт 4) и SCCOM (контакт 5) короткими проводниками на разъеме, если только проводники от тензомоста не имеют достаточно малую длину и низкое сопротивление.

## Принцип действия модуля PXI-4220

Этот раздел содержит информацию о схемотехнической реализации модуля. При чтении материала обращайтесь к рисунку 4-16.

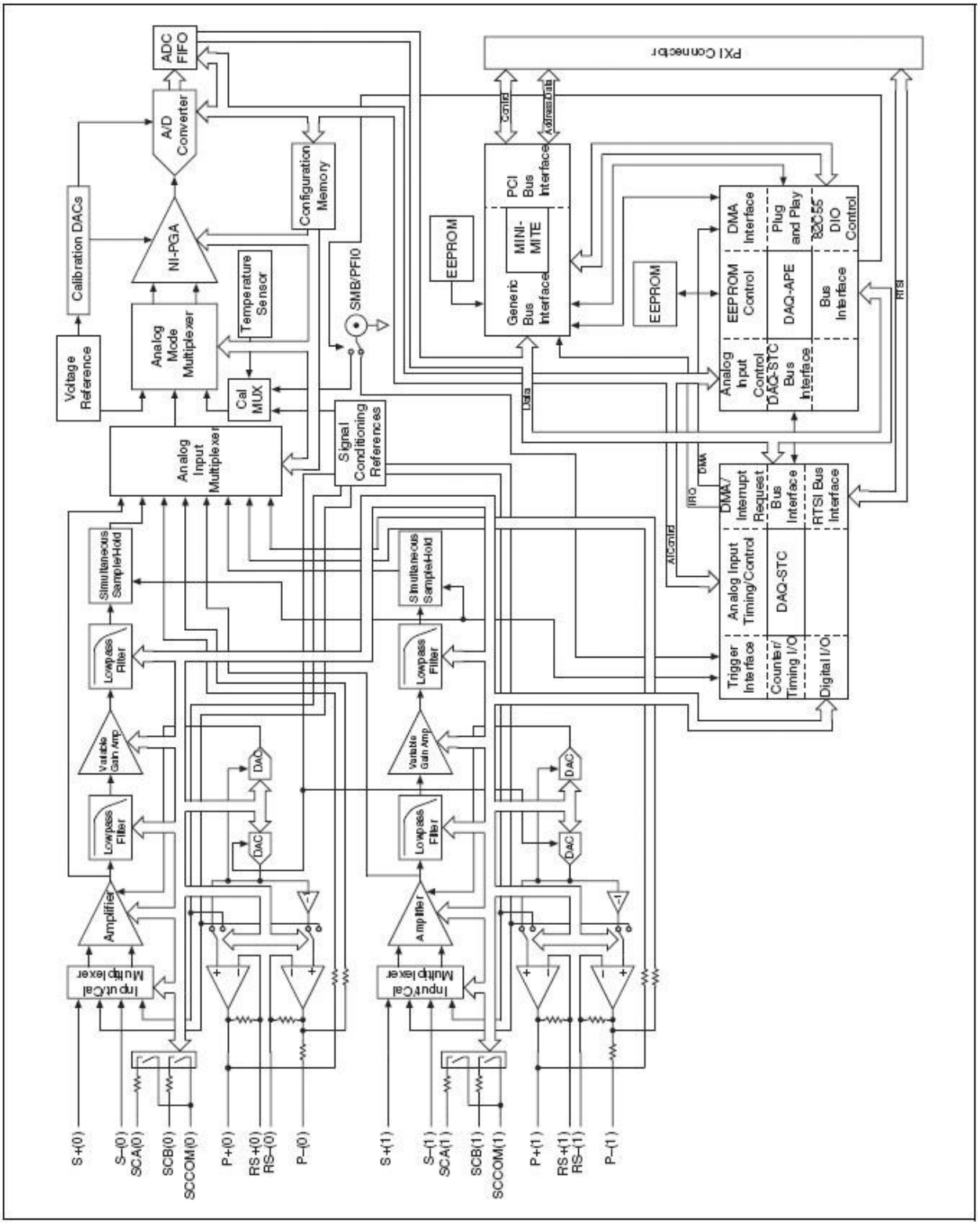



**Рисунок 4-16**. Блок-схема модуля NI PXI-4220

Инструментальный усилитель имеет очень высокое входное сопротивление и усиливает только дифференциальный сигнал. Схема компенсации смещения нуля вносит в сигнал соответствующую поправку по напряжению после выполнения операции калибровки по начальному смещению нуля.

Сигнал с выхода инструментального усилителя проходит через ФНЧ, усилитель с регулируемым коэффициентом усиления, затем через еще один ФНЧ, и, наконец, схему синхронной выборки и хранения прежде, чем попадет на мультиплексор и аналого-цифровой преобразователь.

В модуле NI PXI-4420 в каждом канале имеется 4-полюсный фильтр Баттерворта с 4-мя программно выбираемыми частотами среза, что позволяет снизить влияние помех и повысить точность измерений. Вы можете программно конфигурировать полосу пропускания фильтра в канале, выбирая одну из частот среза: 10 Гц, 100 Гц, 1 кГц, 10 кГц, либо отключая фильтр. Усилитель с регулируемым коэффициентом усиления позволяет устанавливать ряд дискретных значений коэффициента усиления в диапазоне от 1 до 50. Это предоставляет возможность, вместе с настройками коэффициента усиления инструментального усилителя – 1 или 20, получать 49 значений общего коэффициента передачи NI PXI-4420 в диапазоне от 1 до 1000.

По умолчанию в модуле NI PXI-4420 включена схема синхронной выборки и хранения (СВХ), позволяющая синхронно проводить измерения по обоим каналам. Вы не можете включать или отключать СВХ индивидуально для канала. Запрет синхронной выборки и хранения позволяет увеличить максимальную частоту дискретизации, но приводит к небольшому увеличению напряжения смещения. Это смещение можно скомпенсировать, выполнив калибровку по нулевой точке.

Благодаря мультиплексированной архитектуре для измерений во всех каналах модуля NI PXI-4420 используется один аналого-цифровой преобразователь (АЦП). При отключенной СВХ это приводит к тому, что измерения в каналах производятся в разные моменты времени. Задержка между измерениями в каналах определяется заданной частотой дискретизации. Для большинства низкоскоростных измерений эта задержка или сдвиг фаз между измерениями несущественна.

Схема питания и ключи для включения калибровочных шунтов – два блока, которые не являются частью тракта прохождения измеряемого сигнала. Схема питания представляет собой источник стабилизированного напряжения с управляемой цепью обратной связи, называемой цепью обратной связи по удаленному сигналу (Remote Sense). Этот сигнал подключен к аналоговому мультиплексору, и его можно независимо опрашивать в прикладной программе.

Ключи калибровочных шунтов работают под управлением цифрового интерфейса и схемы управления. Чтобы калибровка выполнялась корректно, необходимо подключить контакты калибровочных шунтов к мосту. Когда ключ замкнут, установленный в гнезда резистор калибровочного шунта, находящийся в модуле NI PXI-4420, включается параллельно одному из плеч моста Уитстона.

За более подробной информацией о функционировании любых выше описанных схемных узлов обратитесь к разделам *Конфигурирование и дополнение моста, Питание моста, Коэффициент усиления/Диапазон входного сигнала, Фильтрация, Компенсация смещения нуля, Калибровка моста с помощью шунта и Синхронная выборка и хранение*.

## Конфигурирование и дополнение моста

Вы можете сконфигурировать модуль NI PXI-4420 для работы с датчиками, построенными по схеме моста Уитстона, для которых требуется дополнение до полного моста. К таким датчикам относятся четвертьмостовые и полумостовые. Модуль NI PXI-4420 можно сконфигурировать для работы с конфигурациями схемы «1/4 моста», «1/2 моста» и «полный мост», выполнив необходимые дополнения. Если выбрана конфигурация «1/4 моста» или «1/2 моста», зажим S*X*– (контакт 6) (где *X* – номер канала) отключается от разъема на лицевой панели и подключается внутри модуля к схеме дополнения полумоста. Если выбрана конфигурация «1/4 моста, тип I», дополняющий резистор, установленный в гнезда внутри модуля подключается между P*X*– (контакт 7) и QTR/SCBX (контакт 9). Вы затем подключаете активный тензорезистор между S*X*+ (контакт 1) и P*X*+ (контакт 2), а третьим проводником – к цепи QTR/SCBX (контакт 9), как показано на рисунке 2-4, *Четвертьмостовая тензометрическая схема (тип I)*.

Убедитесь в том, что значение дополняющего резистора четвертьмостовой тензометрической схемы соответствует номинальному сопротивлению активного тензорезистора моста. Дополняющий резистор четвертьмостовой схемы устанавливается в гнезда, чтобы его легко можно было заменить. Дополняющий резистор четвертьмостовой схемы канала AI 0 можно найти в модуле NI PXI-4420 по условному обозначению **R5**, а канала AI 1 - по условному обозначению **R2**.

**Примечание:** Модуль NI PXI-4420 поставляется с установленным дополняющим резистором четвертьмостовой тензометрической схемы, сопротивление которого равно 350 Ом.

За более подробной информацией о программной настройке дополнения моста в MAX обратитесь к разделу *Конфигурирование с помощью MAX* главы 3, *Конфигурирование и тестирование*. За более подробной информацией по программной настройке дополнения моста в NI-DAQmx обратитесь к разделу *Разработка приложений в NI-DAQmx* главы 5, *Разработка приложений*.

## Питание моста

Модуль NI PXI-4420 формирует напряжение постоянного тока для питания мостового датчика, построенного по схеме моста Уитстона. Для схем типа «полумост» и «полный мост» напряжение питания выдается на контакты P*X*+ (контакт 2) и P*X*– (контакт 7). В четвертьмостовых схемах контакт PX– (контакт 7) не используется, вместо этого выполняются соединения

контакта SX+ (контакт 1) и контакта P*X*+ (контакт 2), а также соединение коротким проводником контакта SX+ (контакт 1) с контактом QTR/SCB*X* (контакт 9). Контакты QTR/SCB*X* (контакт 9) и P*X*– (контакт 7) соединяются внутри модуля.

Выходные буферы охвачены отрицательной обратной связью через контакты RS*X*+ (контакт 3) и RS*X*–(контакт 8). Вы должны провести отдельные линии от моста к этим контактам, чтобы усилители получили напряжение обратной связи непосредственно с моста и, тем самым, устанавливалось напряжение, стимулирующее мост, равное требуемому значению.

Напряжение на контакт P*X*+ (контакт 2) всегда положительно относительно заземления шасси, а на зажиме P*X*– (контакт 7) – всегда отрицательно относительно заземления шасси. Инвертирующий усилитель –X1 выравнивает по модулю напряжения на зажимах P*X*+ (контакт 2) и P*X*– (контакт 7). Например, если вы установили напряжение питания, формируемое модулем, +5 В, то напряжение на зажиме P*X*+ (контакт 2) должно быть +2.5 В, а на зажиме P*X*– (контакт 7) должно быть –2.5 В относительно заземления шасси. Напряжение питания задается с помощью внутреннего цифроаналогового преобразователя (ЦАП). Вы можете установить практически любое напряжение питания в диапазоне от 0 до 10В. Вы можете подавать напряжение питания 10 В на полный мост сопротивлением 350 Ом, не превышая предельно допустимую мощность источника питания. На выходах источника питания есть защита от перенапряжения, чтобы предотвратить появление на любом из этих выходов напряжения более 6 В относительно заземления шасси.

**Примечание:** Заземление шасси имеет тот же потенциал, что и общее заземление, если шасси PXI включено в стандартную 3-штырьковую розетку сети переменного тока. Если контакт P*X*– (контакт 7) замкнут на землю, источник питания работает неправильно.

За более подробной информацией о программной настройке уровня напряжения питания моста в MAX обратитесь к разделу *Конфигурирование с помощью MAX* в главе 3, *Конфигурирование и тестирование*. За более подробной информацией по программной настройке уровня напряжения питания моста в NI-DAQmx обратитесь к разделу *Разработка приложений в NI-DAQmx* в главе 5, *Разработка приложений* .

## Сигнал удаленной цепи обратной связи

Выходные буферы питания охвачены отрицательной обратной связью через контакты удаленного сигнала цепи обратной связи RS*X*+ (контакт 3) и RS*X*– (контакт 8). Вы должны провести отдельные линии от моста к этим контактам, чтобы усилители получили напряжение обратной связи непосредственно с моста и, тем самым, устанавливалось напряжение, стимулирующее мост, равным напряжениям на контактах RS*X*+ (контакт 3) и RS*X*–(контакт 8). При этом устраняется нежелательное смещение

напряжения питания и компенсируются температурные колебания в соединительных линиях.

**Примечание:** NI рекомендует подключать соединительные линии удаленного сигнала цепи обратной связи непосредственно к самому датчику, чтобы обеспечить оптимальные условия регулирования напряжения питания и улучшения точности измерений.

Выходное напряжение схемы питания моста в модуле NI PXI-4420 устанавливается в зависимости от уровня сигнала обратной связи, подаваемого на контакты приема сигнала с удаленной цепи. Благодаря этому в NI PXI-4420 корректируется влияние падения напряжения ($I$ x $R$) в проводниках питания между модулем и мостом, даже при температурных изменениях сопротивления проводников.

Сигнал обратной связи с удаленной цепи можно контролировать. Выходной мультиплексор имеет входы, соединенные с сигналами RS*X*+ (контакт 3) и RS*X*– (контакт 8). Эти сигналы можно сканировать для контроля и масштабирования, даже если контакты удаленного цепи обратной связи никуда не подключены. Различие в уровнях этих сигналов может служить для определения реального напряжения питания моста.

Подключите удаленную цепь обратной связи к модулю PXI-4220 согласно рисунку 2-11, *Схема подключения удаленного датчика*. Изменение программных настроек не требуется.

**Примечание:** При использовании удаленной цепи обратной связи установите сопротивление $R_L$ равным нулю в настройках канала в MAX и в уравнениях, применяемых в прикладных программах для определения деформации (ε).

Если какой-либо из контактов цепи удаленной обратной связи никуда не подсоединен, буферы охватываются обратной связью от зажимов P*X*+ (контакт 2) и P*X*– (контакт 7) через внутренние резисторы 1 кОм. Поэтому не требуется устанавливать перемычку между зажимами RS*X*+(контакт 3) и P*X*+ (контакт 2) или RS*X*– (контакт 8) и P*X*– (контакт 7), если удаленная обратная связь не используется. Тем не менее, NI рекомендует выполнять калибровку с помощью шунта, чтобы компенсировать падение напряжения на сопротивлении линии и другие источники мультипликативной погрешности.

Если не используются цепь удаленной обратной связи, а также не выполняется калибровка с помощью шунта, то для компенсации падения напряжения питания на сопротивлении соединительной линии следует масштабировать результаты измерений путем введения поправки коэффициента усиления:

$$C = 1 + \frac{2R_L}{R_g}$$

Данная поправка компенсирует падение напряжения на соединительных проводах, которое вычисляется по следующей формуле:

$$V_{CH} \times G$$

## Коэффициент усиления/Диапазон входного сигнала

Обычно для работы модуля PXI-4220 нет необходимости устанавливать коэффициент усиления, поскольку он настраивается автоматически с помощью драйверов NI-DAQmx в соответствии с диапазоном входного сигнала задачи или глобального канала, или границ диапазона входного сигнала, заданных в LabVIEW.

Чтобы получить оптимальные значения полных коэффициентов усиления, которые полностью перекрывают весь динамический диапазон АЦП, модуль PXI-4220 имеет несколько усилительных каскадов. Первый каскад (инструментальный усилитель) обеспечивает один из двух возможных коэффициентов усиления: 1 или 20. Второй каскад обеспечивает множество дискретных значений коэффициента усиления от 1 до 50. Совместно эти два каскада дают 49 значений общего коэффициента усиления в диапазоне от 1 до 1000. Это предоставляет драйверу возможность выбора коэффициента усиления, который полностью использует весь входной диапазон АЦП. Третий каскад реализован на инструментальном усилителе NI с программируемым коэффициентом усиления (NI PGIA) позволяет изменять входной диапазон АЦП: ±10В, ±5В, ±0.5В и ±0.05В.

Если общий коэффициент усиления не ниже 20, коэффициент усиления первого каскада устанавливается равным 20, чтобы уменьшить влияние шума и дрейфа нуля последующих каскадов. Инструментальный усилитель этого каскада выполнен на базе операционных усилителей с очень малым температурным дрейфом и низким уровнем собственных шумов. Если общий коэффициент усиления меньше 20, коэффициент усиления первого каскада устанавливается равным 1, а коэффициент усиления второго каскада устанавливается соответственно равным общему.

Для обычных конфигураций тензодатчиков, для которых коэффициент тензочувствительности равен 2.0, максимальный входной сигнал (в микровольтах) вычисляется, соответственно, по формулам:

$$V_{in}^{1/4} = \varepsilon_{\max} \times V_{EX} \times (0.5\mu V / V / \mu\varepsilon)$$ - для ¼ мостовой схемы

$$V_{in}^{1/2} = \varepsilon_{\max} \times V_{EX} \times (1.0\mu V / V / \mu\varepsilon)$$ - для ½ мостовой схемы

$$V_{in}^{1/1} = \varepsilon_{\max} \times V_{EX} \times (2.0\mu V / V / \mu\varepsilon)$$ - для схемы полного моста

где $\varepsilon_{\max}$ – максимальная деформация, $V_{EX}$ – напряжение питания.

После определения напряжения входного сигнала, вы можете получить коэффициент усиления по формуле:

$$G = \Delta V_{out} \div V^{*}_{in}$$

где $\Delta V_{out}$ – диапазон выходных напряжений модуля PXI-4220 при напряжении питания 10В, $V^{*}_{in}$– максимальный входной сигнал для соответствующей конфигурации (*) мостовой схемы.

При использовании датчика мостового типа для определения максимального входного сигнала применяют указанную изготовителем чувствительность (выраженную обычно в мВ/В):

$$V_{in} = S \times V_{EX} \times \frac{X_{in}^{\max}}{X_{in}^{FS}}$$

где $S$ – чувствительность датчика, $V_{EX}$ – напряжение питания, $X_{in}^{\max}$ – максимальное значение измеряемой величины, $X_{in}^{FS}$ – значение измеряемой величины, соответствующее полной шкале датчика.

Если, например, у вас есть датчик для измерения давления в диапазоне от 0 до 500 psi (фунтов на квадратный дюйм), который имеет чувствительность 3.0 мВ/В, максимальный уровень сигнала при напряжении питания 10 В и максимальном давлении 200 psi равен:

$$(3.0mV/V) \times (10V) \times (200\ \ psi) / (500\ psi) = 12\ mV$$

Например, поскольку максимальный диапазон входного сигнала АЦП в модуле NI PXI-4220 составляет ±10В, и вы установили максимальный входной сигнал NI PXI-4220, равным +12мВ, установите коэффициент усиления, близкий к значению

$$10V / 12\ mV = 833$$

но *НЕ превышающий* его, поскольку завышенный коэффициент усиления приводит к насыщению схем АЦП при подаче на вход PXI-4220 напряжения 12 мВ. В нашем примере ближайший меньший коэффициент усиления для модуля SCXI-1520 равен 750.

За более подробной информацией о программной настройке коэффициента усиления на основе границ диапазона входного сигнала в MAX обратитесь к разделу *Конфигурирование с помощью MAX* в главе 3, *Конфигурирование и тестирование*. За более подробной информацией по программной настройке коэффициента усиления на основе границ диапазона входного сигнала в NI-DAQmx обратитесь к разделу *Разработка приложений в NI-DAQmx* главы 5, *Разработка приложений*.

## Фильтрация

В модуле NI PXI-4420 имеются 2 звена фильтра с общей характеристикой 4-полюсного фильтра Баттерворта. Частоту среза можно устанавливать программно. Вы можете выбрать одну из частот среза: 10 Гц, 100 Гц, 1 кГц, 10 кГц, можно также пропустить сигнал в обход фильтра. Чтобы обеспечить большую гибкость настроек частоты среза и более эффективное подавление

сигнала за пределами полосы пропускания, NI рекомендует сочетать фильтрацию на аппаратном уровне внутри NI PXI-4220 с цифровой фильтрацией, которую предоставляет библиотека функций Advanced Analysis в LabVIEW, например использовать функцию Filter Express VI из субпалитры **Functions»Analysis**. Библиотека функций Advanced Analysis доступна только в версиях среды проектирования LabVIEW Full или Professional.

За более подробной информацией о программной настройке частоты среза фильтра в MAX обратитесь к разделу *Конфигурирование с помощью MAX* в главе 3, *Конфигурирование и тестирование*. За более подробной информацией по программной настройке частоты среза фильтра в NI-DAQmx обратитесь к разделу *Разработка приложений в NI-DAQmx* главы 5, *Разработка приложений*.

## Компенсация смещения нуля

В модуле PXI-4220 предусмотрена компенсация смещения нуля для подстройки сигнала напряжения, если тензодатчики или тензомост не нагружены. В большинстве случаев компенсация смещения нуля используется для удаления начального смещения моста Уитстона. Во многих устройствах кондиционирования для компенсации смещения нуля применяется многооборотный потенциометр, вращаемый вручную. В модуле PXI-4220 компенсация смещения нуля выполняется электронным способом с помощью программно управляемых электронных потенциометров.

Из двух электронных потенциометров компенсации смещения нуля один предназначен для грубой регулировки, а другой – для точной. Сумма сигналов от двух потенциометров добавляется к напряжению в тракте аналогового ввода, в результате чего устраняется напряжение смещения и тензометрический канал приводится к нулю. На потенциометры подается напряжение, пропорциональное напряжению питания моста. Таким образом, если напряжение питания изменяется на небольшую величину, например, вследствие изменения температуры или нагрузки на датчик, корректирующий сигнал, вырабатываемый потенциометрами, изменяется на соответствующую величину, за счет чего смещение поддерживается на нулевом уровне.

Управление потенциометрами, компенсирующими нуль, осуществляется с помощью цифровых управляющих кодов, которые программно задаются в формате целочисленных значений. Диапазон значений управляющих кодов для грубого потенциометра составляет 0 ÷127, а для точного потенциометра – 0 ÷ 4095. Предельный интервал компенсации нуля для каждого потенциометра зависит от заданного коэффициента усиления в канале. В таблицу 4-2 сведены интервалы компенсации и соответствующие им масштабные соотношения управляющих кодов.

Таблица 4-2. **Управляющие коды для грубого и точного потенциометров компенсации нуля**

| Потенциометр компенсации нуля | Диапазон (Целочисленный) | Средняя точка | Коэффициент усиления в канале | Ориентировочный интервал компенсации нуля в тракте аналогового ввода |
|---|---|---|---|---|
| Грубый | от 0 до 127 | 62 | ≥20 | $V_{EX}/10$ |
| | | | <20 | $2 \times V_{EX}$ |
| Точный | от 0 до 4095 | 2047 | ≥20 | $V_{EX}/364$ |
| | | | <20 | $V_{EX}/18$ |

В большинстве случаев нет необходимости точно устанавливать потенциометры компенсации смещения нуля, вместо этого вы можете дать команду драйверу NI-DAQ настроить их автоматически либо в MAX, либо в Вашем приложении.

За более подробной информацией о программной компенсации смещения нуля в MAX обратитесь к разделу *Конфигурирование с помощью MAX* в главе 3, *Конфигурирование и тестирование*. За более подробной информацией о программной компенсации смещения нуля в NI-DAQmx обратитесь к разделу *Разработка приложений в NI-DAQmx* главы 5, *Разработка приложений*.

## Калибровка с помощью шунта

Под калибровкой с помощью шунта понимают процесс получения поправки для коррекции погрешности коэффициента усиления системы и расхождений между номинальным и действительным коэффициентами тензочувствительности.

Поправка для коррекции коэффициента усиления получается на основе теоретических (расчетных) значений уровней сигнала, которые должны получиться в результате включения шунта параллельно одному из плеч мостового датчика и измеренных значений, когда шунт действительно включен.

Поправка коэффициента усиления вычисляется по формуле:

$$A = \frac{S_{sim}}{S_{meas}},$$

где

$S_{sim}$- теоретическое (расчетное) значение уровня сигнала, которое должно получиться при включении шунта параллельно одному из плеч мостового датчика.

$S_{meas}$ – измеренное значение уровня сигнала при включении шунта параллельно одному из плеч мостового датчика.

Затем, чтобы результаты измерений получались с высокой точностью, они умножаются на вышеприведенную поправку, что позволяет корректировать любые погрешности коэффициента усиления или коэффициента тензочувствительности моста.

За более подробной информацией по автоматической калибровке с помощью шунта в глобальных каналах с помощью NI-DAQmx в MAX обратитесь к разделу *Конфигурирование с помощью MAX* в главе 3, *Конфигурирование и тестирование*. За более подробной информацией о программном управлении ключами, которые включают калибровочные шунты, с помощью NI-DAQmx обратитесь к разделу *Разработка приложений в NI-DAQmx* главы 5, *Разработка приложений*.

Модуль PXI-4220 имеет в своем составе две независимых цепи для подключения калибровочных шунтов, доступных для каждого канала через контакты SCA (контакт 4), QTR/SCB (контакт 9) и SCCOM (контакт 5) разъема D-SUB. Каждая цепь калибровки состоит из резистора, соединенного последовательно с долговечным полупроводниковым ключом. Поскольку такой ключ гальванически изолирован от земли, вы можете включать его параллельно любому внешнему мостовому элементу.

Резистор калибровочного шунта B не может быть включен программно в NI-DAQmx 7.0. Если вы включаете резистор калибровочного шунта B а прикладной программе, помните, что резистор калибровочного шунта A и резистор калибровочного шунта B имеют общую цепь – SCCOM. Из-за этой общей цепи резистор калибровочного шунта A и резистор калибровочного шунта B могут использоваться только при калибровке шунтированием одного и того же элемента или двух смежных элементов моста.

Непосредственно перед калибровкой выполните компенсацию смещения нуля. В противном случае коэффициент усиления будет отрегулирован неправильно, т.к. смещение нуля не будет скомпенсировано.

## Синхронная выборка и хранение

Кондиционирование сигналов путем синхронной выборки и хранения (СВХ) позволяет DAQ-устройствам с мультиплексированием получать по всем каналам синхронизированные отсчеты с пренебрежимо малым сдвигом по фазе. СВХ осуществляется с помощью устройства выборки и хранения (УВХ). Выходные сигналы усилителей УВХ в режиме выборки отслеживают изменения входных сигналов, пока не получат управляющий сигнал о переходе в режим хранения от DAQ-устройства. Оба канала модуля NI PXI-4220 фиксируют уровни сигналов на их входах в один и тот же момент времени. Возможна синхронизация нескольких модулей NI PXI-4220, что позволяет одновременно опрашивать каналы во всех модулях. DAQ-устройство затем оцифровывает сигналы от каждого канала, и получаемые отсчеты относятся к одному моменту времени, без задержек между каналами. Затем УВХ разблокируются и переходят в режим слежения. С целью обеспечения точности измерений используйте данные Таблицы 4-3 для определения максимальной частоты дискретизации модуля

NI PXI-4220 при включенном режиме СВХ. На рисунке 4-17 приведен пример сигнала в процессе СВХ.

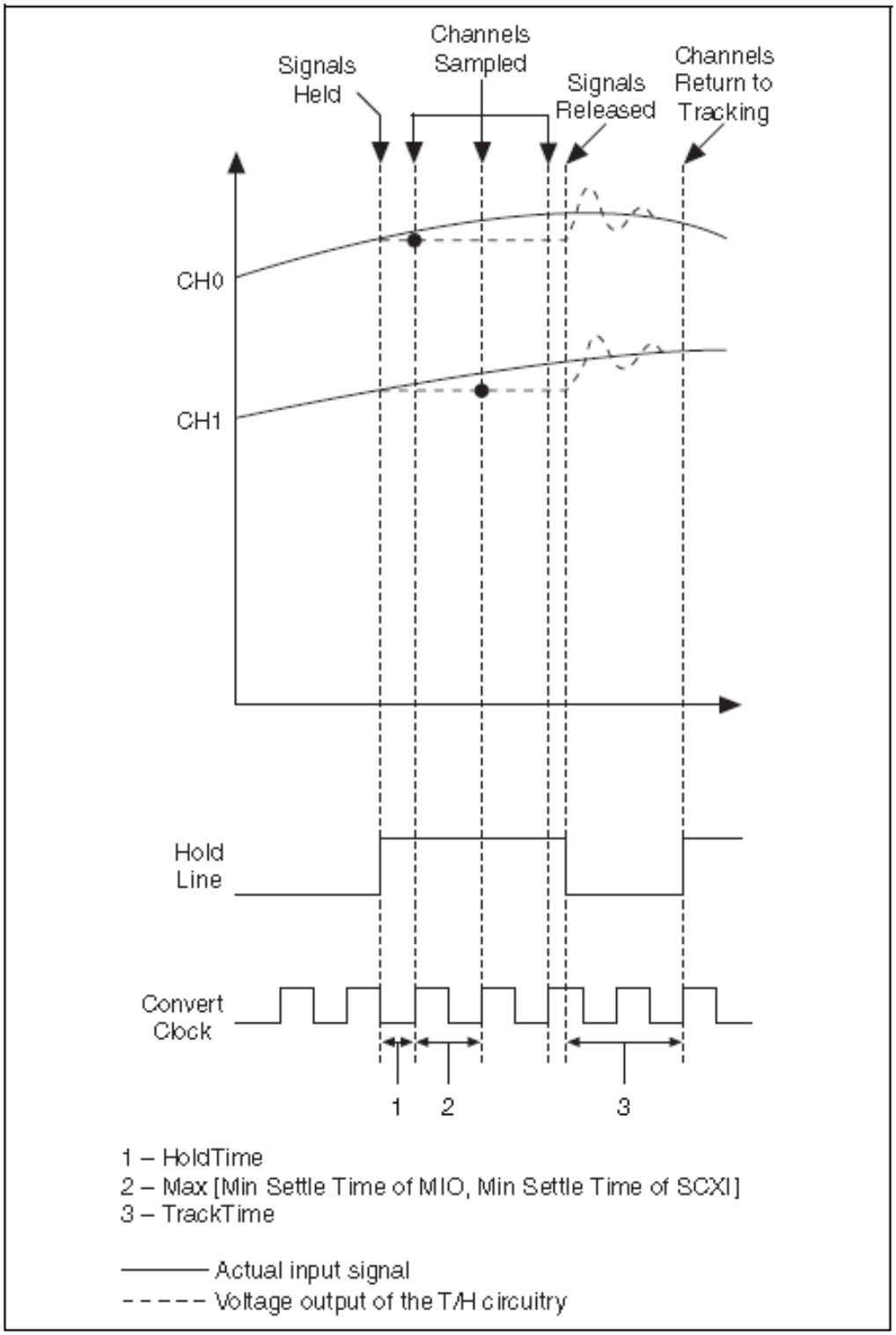



**Рисунок 4-17.** Сигнал в процессе СВХ

Signals Held – фиксация сигналов; Channels Sampled – оцифровка по каналам; Signals Released – разблокировка сигналов; Cannels Return to Tracking – возврат каналов в режим слежения; Hold Line – линия управления фиксацией; Convert Clock – тактовые импульсы преобразования;

Hold Time - время фиксации сигнала; Max[Min Settle Time of MIO, Min Settle Time of SCXI] - наибольший из минимальных интервалов времени установления сигнала в модулях DAQ и SCXI; Track Time - время слежения; Actual input signal – реальный входной сигнал; Voltage output of the T/H circuitry – напряжение на выходе схемы выборки/хранения

Несмотря на то, что NI-DAQmx позволяет программно разрешать или запрещать режим СВХ, NI рекомендует для большинства приложений оставлять режим СВХ разрешенным. В модуле NI PXI-4220, по умолчанию, режим СВХ включен. Вам следует запрещать СВХ только в том случае, если в вашем приложении не требуется одновременная выборка и нужны более высокие частоты дискретизации, чем возможны в этом режиме. За более подробной информацией о программном разрешении и запрете СВХ в LabVIEW обратитесь к разделу *Настройка свойств каналов* главы 5, *Разработка приложений*.

### Максимальная частота дискретизации

В таблице 4-3 приведены значения максимальной частоты дискретизации модуля NI PXI-4220 при сканировании одного или двух каналов в режимах с включением и отключением синхронной выборки и хранения.

**Таблица 4-3. Максимальная частота дискретизации**

| Количество каналов | Режим СВХ включен | Режим СВХ выключен |
|---|---|---|
| 1 | $100x10^3$ отсчетов/с | $333x10^3$ отсчетов/с |
| 2 | $66x10^3$ отсчетов/с/канал | $100x10^3$ отсчетов/с/канал |

## Вопросы измерений

В этом разделе приводится информация о способах подключения сигналов к модулю NI PXI-4220 и важных факторах, которые могут повлиять на результаты измерений.

### Дифференциальные сигналы

Оба аналоговых входа модуля NI PXI-4220 – дифференциальные. Вообще, дифференциальные средства измерений предпочтительнее иных, т.к. они ослабляют не только напряжение общего вида и источники погрешностей, вызванные контурами заземлений, но и помехи, наведенные окружающей средой.

### Коэффициент подавления синфазного сигнала

Способность измерительного устройства подавлять напряжение, общее для обоих входных контактов называется подавлением сигнала общего вида и оценивается коэффициентом подавления синфазного сигнала (Common-Mode Rejection Ratio – CMRR), обычно выражаемым в децибелах и относящимся к определенной частоте или к заданному диапазону частот. Синфазные сигналы могут происходить от разных источников и наводятся через проводящие связи или путем излучения. Одним из наиболее распространенных источников помех общего вида являются силовые линии с частотой 50 или 60 Гц.

Минимальное значение коэффициента подавления синфазного сигнала модуля NI PXI-4220 при коэффициенте усиления, равном или большем 20, составляет 85 дБ. При этом погрешность измерения от помехи общего вида – 0.006%.

### Эффективное ослабление синфазного сигнала

Когда частота синфазного сигнала известна и лежит вне полосы частот измеряемого сигнала, можно использовать аналоговую или цифровую фильтрацию, или оба способа фильтрации для того, чтобы дополнительно ослабить влияние помехи, оставщейся вследствие конечного значения коэффициента подавления синфазного сигнала инструментального усилителя. Комбинация подавления синфазного сигнала инструментальным усилителем и ослабление с помощью фильтрации есть эффективное подавление синфазного сигнала (Common-mode rejection – CMR). Выраженный в децибелах коэффициент CMR равен сумме коэффициента CMR и ослабления, обусловленного фильтрацией на определенной частоте.

## Характеристика синхронизации и управления

Модуль NI PXI-4220 по многим архитектурным признакам похож на устройства сбора данных E серии производства NI. В этой архитектуре используется NI контроллер синхронизации систем сбора данных (Data Acquisition System Timing Controller – DAQ-STC) для реализации функции, связанных с временными соотношениями. Контроллер DAQ-STC состоит из двух схем синхронизации, которые управляют операциями аналогового ввода и работой счетчиков/таймеров общего назначения. В эти схемы, с максимальным временным разрешением в 50 нс, входят всего 7 24-разрядных и 3 16-разрядных счетчика. Контроллер DAQ-STC позволяет реализовать в приложениях внутреннее аппаратное тактирование или многоточечный сбор данных, равномерную дискретизацию во времени и плавное изменение частоты дискретизации.

В модуле NI PXI-4220 используется шина сигналов запуска PXI, что упрощает синхронизацию от общих сигналов запуска и синхронизации нескольких функций измерений между несколькими модулями NI PXI-4220. Шина сигналов запуска PXI подключается через разъем на объединительной панели шасси PXI. Контроллер DAQ-STC предоставляет гибкий интерфейс для подключения сигналов синхронизации к другим устройствам или внешним схемам. NI PXI-4220 позволяет также использовать шину сигналов запуска PXI для внутренних коммутаций сигналов синхронизации между устройствами PXI и контактами входов с программируемой функцией (PFI) разъемов SMB на лицевой панели с целью подключения к внешним схемам. Это позволяет организовать как управление модулем от внешних устройств и схем, так и управление внешними устройствами и схемами от модуля.

В контроллере DAQ-STC есть внутренние сигналы синхронизации, которыми вы можете управлять от внешних источников. Формированием этих сигналов осуществляться под управлением внутренних сигналов, генерируемых DAQ-STC, способа управления выбирается программно. На

рисунке 4-18 показан пример маршрутизации сигналов управления формированием импульсов AI CONV CLK.

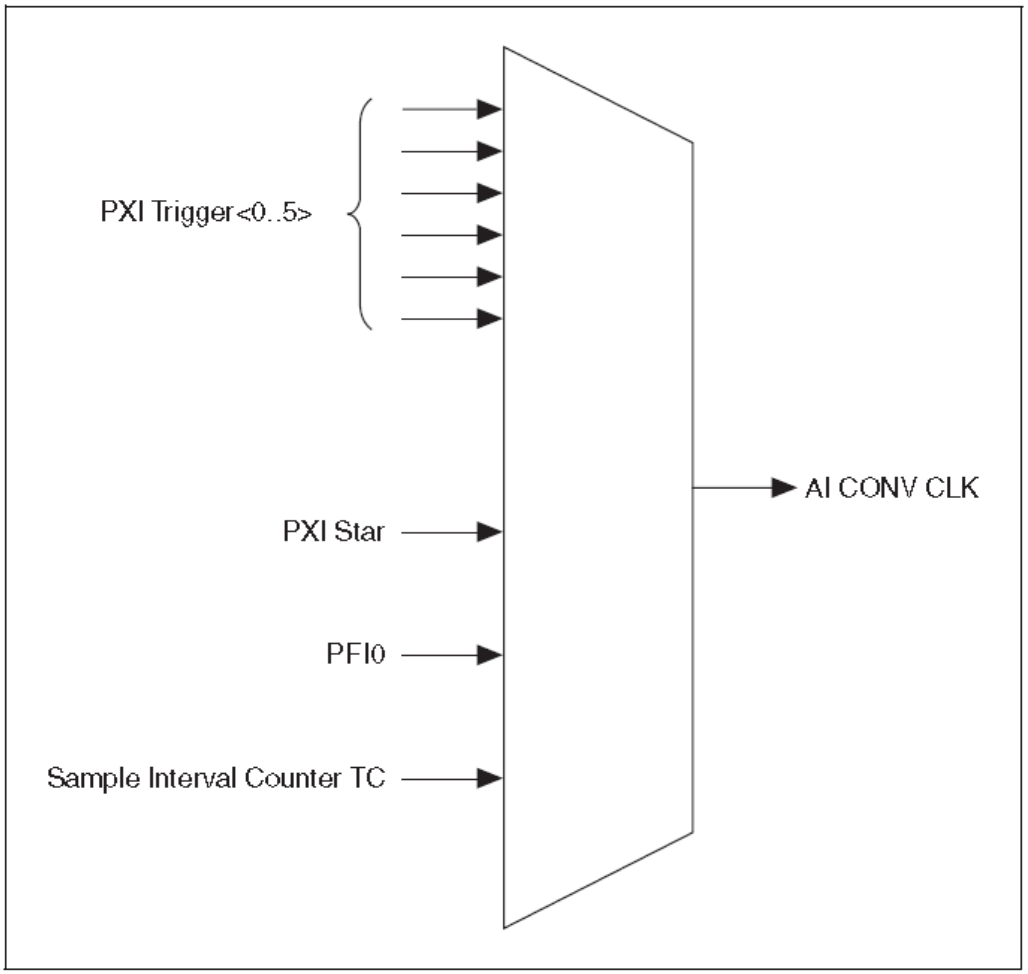



**Рисунок 4-18.** Управление формированием импульсов AI CONV CLK

На рисунке 4-18 показано, что сигнал AI CONV CLK может быть сгенерирован от множества источников, таких, как внешние сигналы PFI0 и PXI_Trig<0…5>, а также внутренних сигналов интервалов дискретизации (SI2) от вывода TC счетчика.

## Входы с программируемой функцией

PFI0 подключен к разъему SMB на лицевой панели NI PXI-4220. Контакт PFI0 можно программно назначить в качестве внешнего источника заданного сигнала синхронизации. Любой сигнал синхронизации может использовать контакт PFI0 в качестве входного, причем несколько сигналов синхронизации могут использовать один и тот же PFI одновременно. Подобная гибкая схема маршрутизации снижает необходимость в физических коммутациях разъемов ввода-вывода для разных приложений. Разъем SMB на лицевой панели позволяет также использовать программируемость функционального назначения контакта PFI0 для подключения прецизионного источника напряжения к модулю NI PXI-4220 при проведении внешней калибровки устройства. PFI0 можно настроить на вывод только сигнала AI START TRIG.

## Тактовые импульсы устройства и тактовые импульсы PXI

Многие из функций, выполняемых модулем NI PXI-4220, требуют опорной частоты для генерации сигналов синхронизации, необходимых для управления аналого-цифровым преобразованием, цифроаналоговым преобразованием или сигналами общего назначения на разъеме ввода-вывода.

В модуле NI PXI-4220 можно использовать его внутреннюю главную опорную частоту 20 МГц или внешний сигнал опорной частоты, принимаемый по линии тактирования шины запуска PXI. Внешний сигнал опорной частоты конфигурируется программно. Если вы конфигурируете устройство на работу с внутренним источником опорной частоты, то можете запрограммировать устройство на предоставление в общее пользование этого внутреннего сигнала через шину запуска PXI другим устройствам, запрограммированным на прием этого сигнала опорной частоты. Такой источник импульсов, локальный или поступающий с шины запуска PXI, используется устройством непосредственно, как источник основной частоты. Конфигурацией по умолчанию определен внутренний сигнал опорной частоты без его разделения по шине запуска PXI. В модуле NI PXI-4220 можно использовать линию PXI_Trig<7> для синхронизации `Master Timebase` с другими устройствами.

В модуле NI PXI-4220 линии PXI_Trig<0…5> или PXI_Star подключаются через объединительную панель. Линия запуска PXI (Star Trigger) позволяет принимать в модуль NI PXI-4220 сигналы запуска от любого контроллера, установленного в слот 2 шасси. Модуль NI PXI-4220 не может управлять линиями запуска PXI. Дополнительная информация о запуске по линиям Star Trigger приведена в документах *PXI Hardware Specification Revision 2.1* и *PXI Software Specification Revision 2.1*.

На рисунке 4-19 показана схема соединений этих сигналов.

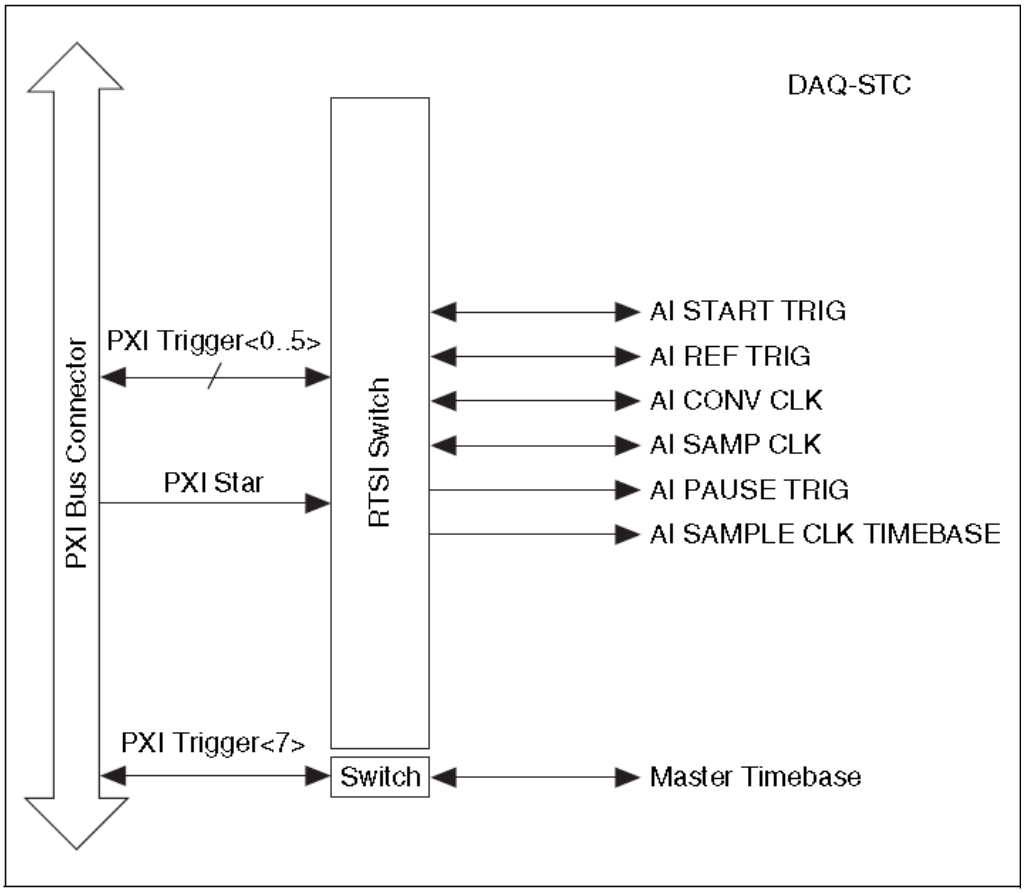



**Рисунок 4-19.** Подключение сигналов шины запуска PXI в модуле NI PXI-4220

PXI Bus Connector – разъем шины PXI; RTSI Switch – переключатели RTSI; Master Timebase – главная опорная частота

В таблице 4-4 приведена информация о каждом из сигналов синхронизации шины запуска PXI. Дополнительные сведения о сигналах синхронизации можно найти в приложении B, *Информация о сигналах синхронизации.*

**Таблица 4-4.** Сигналы синхронизации шины запуска PXI

| Сигнал | Направ-ление | Описание | Доступность на контакте PFI0 разъема SMB | Доступность на шине запуска PXI |
|---|---|---|---|---|
| AI START TRIG | Вход<br>Выход | Источник цифрового запуска для аналогового ввода, по которому начинается сбор данных<br>Выход реального сигнала запуска для аналогового ввода | Вход<br>Выход | Вход<br>Выход |
| AI REF TRIG | Вход<br>Выход | Сигнал запуска, который создает опорную точку для отсчетов до и после события запуска | Вход | Вход<br>Выход |
| AI SAMP CLK | Вход<br>Выход | Импульс, задающий интервал между отсчетами. По каждому импульсу формируется по одному отсчету на канал | Вход | Вход<br>Выход |
| AI CONV CLK | Вход<br>Выход | Импульс, непосредственно запускающий АЦП | Вход | Вход<br>Выход |
| AI PAUSE TRIG | Вход | Сигнал приостановки и возобновления сбора данных | Вход | Вход |
| AI SAMPLE CLK TIMEBASE | Вход | Опорная частота – основной тактовый импульс, из которого получают импульсы дискретизации | Вход | Вход |

# 5

# Разработка приложения

В этой главе описываются основы программирования модуля NI PXI-4220 и разработка приложения в LabVIEW.

## Разработка приложения в NI-DAQmx

**Примечание:** Если вы будете использовать системы проектирования других компаний, а не National Instruments, работать с системами проектирования National Instruments более ранних версий, чем 7.0, или будете пользоваться нелицензированными копиями текущих версий, утилита NI License Manager будет открывать дополнительные диалоговые окна, в которых можно создавать задачи или глобальные каналы, используя DAQ Assistant в нелицензированном режиме. Эти окна с сообщениями будут появляться до тех пор, пока вы не установите лицензионную среду разработки версии 7.0 и выше, чтобы воспользоваться всеми преимуществами NI DAQ Assistant

Далее рассматривается конфигурирование и применение NI-DAQmx для управления модулем NI PXI-4220 в LabVIEW. LabVIEW является более гибким средством разработки приложений и обеспечивает доступ к большему количеству настроек, чем MAX. В то же время, совместное использование LabVIEW и MAX позволяет быстро создать новое приложение, удовлетворяющее специфическим требованиям.

### Блок-схема типового алгоритма

На рисунке 5-1 приведена блок-схема типового алгоритма создания задачи, который включает в себя создание задачи, конфигурирование каналов, выполнение измерений, обработку данных, представление данных, остановку измерений и удаление задачи. В разделах *Создание задачи с помощью DAQ Assistant или программным способом, Настройка режимов синхронизации и запуска, Настройка свойств канала, Компенсация смещения нуля, Калибровка с помощью шунта, Сбор, обработка и отображение данных и Завершение приложения* более подробно описаны этапы, приведенные на рисунке 5-1.

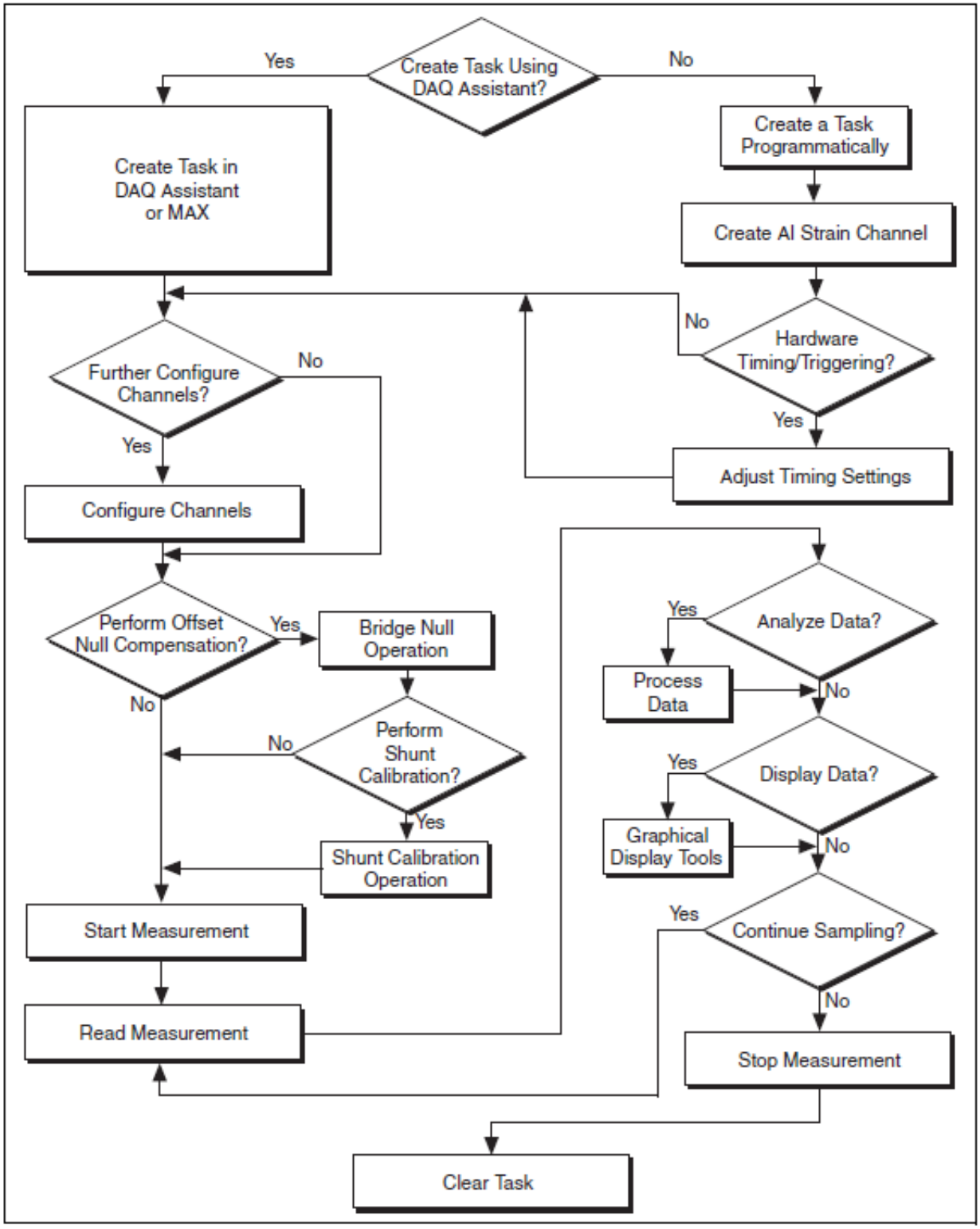



**Рисунок 5-1.** Блок-схема типового алгоритма

## Общие пояснения к типовому алгоритму

В последующих разделах вкратце рассматриваются некоторые блоки, изображенные на рисунке 5-1, а также дается обзор некоторых свойств и настроек, доступных при программировании с помощью NI-DAQmx.

## Создание задачи с помощью DAQ Assistant или программным способом

При создании приложения в первую очередь необходимо принять решение, какими средствами вы будете создавать задачу: помощником DAQ Assistant или средствами программирования, предоставляемыми средой разработки приложений.

Разработка приложения с использованием NI-DAQmx дает возможность конфигурировать большинство настроек, включая вид измерений, выбор каналов, напряжение питания измерительной схемы, границы диапазона входного сигнала, параметры синхронизации и запуска при помощи DAQ Assistant. С DAQ Assistant можно работать из оболочки MAX или из установленной среды разработки приложений. Выбор DAQ Assistant может облегчить процесс разработки приложения. NI рекомендует создавать задачи, применяя DAQ Assistant для упрощения проектирования систем с датчиками, требующими сложных масштабирующих преобразований, или с каналами, относящимися к одной задаче, но обладающими разными свойствами.

Если вы пользуетесь средой разработки приложений от сторонних производителей, или хотите создать и точно настроить задачу для конкретного режима сбора данных, можно программным способом создать и сконфигурировать задачу с помощью вызовов функций или виртуальных приборов (VI) среды проектирования. Если задача создана с помощью DAQ Assistant, то впоследствии можно программно изменять параметры конфигурирования и отдельные свойства с помощью функций или узлов свойств (property nodes). NI рекомендует создавать задачи программным способом, если вам нужно точно управлять программно настраиваемыми свойствами системы сбора данных (DAQ-системы). Создание задач программным способом рекомендуется также при синхронизации нескольких устройств с использованием ведущих и ведомых задач (master and slave). Обратитесь к разделу *Синхронизация NI PXI-4220* для получения дополнительной информации о синхронизации нескольких устройств NI PXI-4220.

Программная настройка свойств задачи, созданной с помощью DAQ Assistant, отменяет исходные настройки или настройки по умолчанию, но действует только в текущей сессии. Изменения конфигурации не сохраняются. При повторной загрузке задачи будут использоваться начальные настройки DAQ-Assistant.

## Настройка режимов синхронизации и запуска

DAQ Assistant, а также вызываемые в прикладной программе функции и узлы свойств, позволяют настраивать некоторые параметры синхронизации. Настройки синхронизации, заданные в задаче DAQ Assistant, можно будет потом изменять программным путем в приложении.

В процессе программной настройки синхронизации можно выбрать один из трех режимов сбора данных: непрерывный сбор данных, накопление в буфере конечного числа отсчетов или однократное измерение. Для

организации непрерывного сбора данных все программные компоненты, отвечающие за сбор данных, следует поместить в цикл `while` как при использовании оболочки MAX, так и Экспресс-VI `DAQ Assistant`. В режиме непрерывного сбора данных с буферизацией можно задать частоту дискретизации и количество считываемых отсчетов как с помощью `DAQ Assistant`, так и путем вызова функций из приложения. По умолчанию, автоматически выбирается внутренний генератор синхроимпульсов с параметрами, определяемыми требуемой частотой дискретизации. Вы можете также задать дополнительные свойства – назначить внешний генератор синхроимпульсов, определить внутренний маршрут для источника синхроимпульсов, а также выбрать активный фронт синхроимпульсов.

## Настройка свойств канала

Каждая среда разработки приложений, в которой можно конфигурировать модуль NI PXI-4220, обеспечивает доступ к его основным настройкам через драйвера NI-DAQmx. Некоторые из этих настроек приведены в таблице 5-1. Эта таблица пригодится вам, чтобы определить свойства, которые необходимы для настройки модуля в вашем приложении. Полный список свойств, настраиваемых с помощью NI-DAQmx, можно найти в справочной системе среды программирования.

**Примечание:** Некоторые свойства нельзя настраивать во время исполнения задачи. В этом случае следует остановить задачу, изменить значения свойств и затем перезапустить приложение. Все свойства в таблице 5-1 настраиваются до запуска приложения.

**Таблица 5-1.** Свойства NI-DAQmx

| Свойство | Сокращенное обозначение | Описание |
|---|---|---|
| **Analog Input»General Properties» Advanced»Range»High** | AI.Rng.High | Верхний предел диапазона входных сигналов. |
| **Analog Input»General Properties» Advanced»Range»Low** | AI.Rng.Low | Нижний предел диапазона входных сигналов. |
| **Analog Input»General Properties» Filter»Analog Lowpass»Enable** | AI.Lowpass.Enable | Разрешение ФНЧ в канале. |
| **Analog Input»General Properties» Filter»Analog Lowpass»Cutoff Frequency** | AI.Lowpass.CutoffFreq | Частота среза ФНЧ (Гц) по уровню -3 дБ. Может принимать значения 10, 100, 1000 и 10000. |
| **Analog Input»General Properties» Signal Conditioning»Bridge» Configuration** | AI.Bridge.Cfg | Определяет тип датчика – конфигурации моста Уитстона |

**Таблица 5-1.** Свойства NI-DAQmx (Продолжение)

| Свойство | Сокращенное обозначение | Описание |
|---|---|---|
| **Analog Input»General Properties»Signal Conditioning»Bridge»Shunt Cal»Shunt Cal Enable** | AI.Bridge.ShuntCal.Enable | Разрешение включения резистивного шунта параллельно одному из плеч моста. |
| **Analog Input»General Properties»Signal Conditioning»Excitation»Value** | AI.Excit.Val | Напряжение питания моста (В). |
| **Analog Input»Strain»Strain Gage»Configuration** | AI.StrainGage.Cfg | Тип конфигурации тензометрического моста. |
| **Analog Input»General Properties»Signal Conditioning»Bridge»Nominal Resistance** | AI.Bridge.NomResistance | Сопротивление моста в ненагруженном состоянии (Ом). |
| **Analog Input»Strain»Strain Gage»Gage Factor** | AI.StrainGage.GageFactor | Коэффициент тензочувствительности. |
| **Analog Input»Strain»Strain Gage»Poisson Ratio** | AI.StrainGage.PoissonRatio | Отношение поперечной деформации к продольной деформации материала, из которого изготовлен образец |
| **Analog Input»General Properties»Signal Conditioning»Bridge»Initial Bridge Voltage** | AI.Bridge.InitialVoltage | Выходное напряжение моста в ненагруженном состоянии (В). |
| **Analog Input»General Properties»Signal Conditioning»Bridge»Balance» Coarse Potentiometer Property** | AI.Bridge.Balance.CoarsePot | Значение параметра компенсации смещения нуля (от 0 до 127). |
| **Analog Input»General Properties»Signal Conditioning»Bridge»Balance» Fine Potentiometer Property** | AI.Bridge.Balance.FinePot | Значение параметра компенсации смещения нуля (от 0 до 4095). |
| **Analog Input»General Properties»Signal Conditioning»Excitation» Source** | AI.Excitation.Src | Источник питания моста. |
| **Analog Input»General Properties»Advanced»Sample and Hold Enable** | AI.SampAndHold.Enable | Разрешение УВХ. |

**Примечание:** Приведен не весь перечень свойств NI-DAQmx, не включены некоторые свойства, которые могут потребоваться при конфигурировании создаваемых приложений. Но приведенный перечень может служить в качестве примера наиболее важных свойств, используемых для настройки режимов тензометрических измерений, а также других измерений с помощью моста Уитстона. Полный список свойств, настраиваемых с помощью NI-DAQmx, и более подробную информацию о них можно найти в справочной системе среды разработки приложений.

## Компенсация смещения нуля

В составе модуля NI PXI-4220 есть схема компенсации смещения нуля, которая подстраивает уровень сигнала по напряжению, когда тензодатчик или другой мостовой датчик находятся в ненагруженном состоянии. Для большинства датчиков компенсация нуля заключается в устранении начального смещения нуля у моста Уитстона. Чтобы выполнить компенсацию смещения нуля при измерении деформации, вы можете создать тензометрическую задачу или глобальный канал. Компенсация смещения нуля может быть выполнена в процессе конфигурирования глобального канала (каналов). За более подробной информацией по компенсации смещения нуля в MAX обратитесь к разделу *Создание тензометрического глобального канала или задачи* главы 3, *Конфигурирование и тестирование*. Если вы измеряете не деформацию или хотели бы выполнить компенсацию смещения нуля при измерении произвольного напряжения, можно регулировать настройки грубого и точного потенциометров с помощью свойств.

За более подробной информацией о компенсации смещения нуля обратитесь к разделу *Компенсация смещения нуля* главы 4, *Принцип действия*.

## Калибровка с помощью шунта

Под калибровкой с помощью шунта следует понимать процесс получения поправки, которая корректирует погрешность коэффициента усиления всей системы и расхождение между номинальным и действительным коэффициентом тензочувствительности тензодатчика. Если вы измеряете деформацию, для выполнения калибровки с помощью шунта можно использовать тензометрическую задачу или глобальный канал. Калибровка выполняется с помощью шунта в процессе конфигурирования глобального канала (глобальных каналов). За информацией по калибровке с помощью шунта в MAX обратитесь к разделу *Создание тензометрического глобального канала или задачи* главы 3, *Конфигурирование и тестирование*.

Чтобы узнать, как выполнить калибровку вручную, обратитесь к разделу *Калибровка с помощью шунта* главы 4, *Принцип действия*.

## Сбор, обработка и отображение данных

После настройки задачи и каналов можно начинать сбор, обработку и отображение результатов измерений в соответствии с требованиями вашего приложения. К типичным методам обработки данных относятся цифровая фильтрация, усреднение, анализ спектра, масштабирование, коррекция результатов измерений.

В некоторых приложениях, где используется специфическое масштабирование, требуется реальное напряжение питания моста, которое отличается от номинального напряжения питания, генерируемого модулем NI PXI-4220. Чтобы получить такое напряжение, вы можете опрашивать контакты цепи удаленной обратной связи RS*X*+ (контакт 3) и RS*X*– (контакт 8) с помощью физических каналов DAQmx `Dev*X*/_pPos*X*` и

`Dev`*X*`/_pNeg`*X*. В этом случае реальное напряжение питания моста, которое следует использовать в уравнении масштабирования, определяется как разность напряжений на вышеуказанных каналах.

**Примечание:** Если контакты RS*X*+ и RS*X*– не подключены к мосту в точках P*X*+ и P*X*–, каналы _pPos*X* и _pNeg*X* измеряют напряжение питания внутри модуля, что не позволяет корректировать падение напряжения на подводящих линиях от источника питания.

Компания NI снабжает каждую свою среду разработки приложений мощными библиотеками для современного анализа данных, которые не требуют привлечения дополнительных средств программирования. После сбора и обработки удобно отобразить данные на графике или сохранить их в файл. Средства разработки приложения от National Instruments имеют простые в обращении средства отображения, в т.ч. графики, диаграммы, регуляторы, стрелочные индикаторы и т.д. Также имеются простые средства сохранения данных в файлах таких форматов, как электронные таблицы – для простоты просмотра, ASCII – для универсальности, двоичном – для минимизации размера файлов.

### Завершение приложения

После завершения измерений, обработки и отображения данных обязательно следует остановить и удалить задачу из памяти, чтобы освободить ресурсы аппаратуры для использования в других задачах.

## Разработка приложения в LabVIEW

В этом разделе более подробно описываются такие блоки типового алгоритма, приведенного на рисунке 5-1, как создание задачи в LabVIEW и конфигурирование каналов модуля NI PXI-4220. Если вам требуется более подробная информация или дополнительные инструкции, запустите из меню LabVIEW команду **Help»VI, Function, & How-To Help**.

**Примечание:** Виртуальные приборы (VI), информация о которых приведена в таблице 5-2, расположены в субпалитре **Functions»All Functions»NI Measurements» DAQmx – Data Acquisition** и других субпалитрах, имеющих отношение к сбору данных (если не оговорено иное их расположение).

**Таблица 5-2.** Программирование задачи в LabVIEW

| Блок алгоритма | VI или функция программы |
|---|---|
| Create Task in DAQ Assistant<br>(Создание задачи с помощью DAQ Assistant) | Создается элемент управления `DAQmx Task Name Control` из субпалитры **Controls»All Controls»I/O» DAQmx Name Controls**, затем щелчком правой кнопки мыши из контекстного меню выбирается команда `New Task (DAQ Assistant)`. |

**Таблица 5-2.** Программирование задачи в LabVIEW (продолжение)

| Блок алгоритма | VI или функция программы |
|---|---|
| Create a Task<br>Programmatically (optional)<br>(Создание задачи программным путем (дополнительно)) | `DAQmx Create Task.vi` – (не является обязательным, если вы создали и сконфигурировали задачу с помощью DAQ Assistant). Однако, если вы работаете с ним в LabVIEW, любые изменения параметров задачи не сохраняются для задачи, созданной в MAX. |
| Create AI Strain Channel<br>(optional)<br>(Создание тензометрического канала (дополнительно)) | `DAQmx Create Virtual Channel.vi` – по умолчанию находится в режиме AI Voltage, вместо которого необходимо выбрать **Analog Input»Strain»Strain Gage** (не является обязательным, если вы создали и сконфигурировали задачу и каналы с помощью DAQ Assistant). Однако, если вы работаете с ним в LabVIEW, любые изменения параметров задачи не сохраняются для задачи, созданной в MAX. |
| Adjust Timing Settings<br>(optional)<br>(Настройка параметров синхронизации (дополнительно)) | `DAQmx Timing.vi` (режим Sample Clock – по умолчанию) – не является обязательным при создании и настройке задачи с помощью DAQ Assistant. Любые изменения параметров синхронизации не сохраняются в DAQ Assistant. Они действительные только для текущей сессии. |
| Configure Channels (optional)<br>(Настройка каналов (дополнительно)) | NI-DAQmx Channel Property Node – более подробная информация об этом узле свойств приведена в разделе *Использование узла свойств NI-DAQmx Channel Property Node в LabVIEW*. Этот узел не является обязательным, если вы создали и полностью настроили каналы в DAQ Assistant. Любые изменения свойств канала с помощью узла свойств канала не сохраняются для задачи, созданной в DAQ Assistant. Они действительны только для текущей сессии. |
| Perform Offset Null<br>Compensation<br>(Компенсация смещения нуля) | `DAQmx Perform Bridge Offset Nulling Calibration.vi` из субпалитры **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx - Data Acquisition»DAQmx Advanced»DAQmx Calibration**. Вы можете также выполнять компенсацию смещения нуля при создании и конфигурировании каналов в DAQ Assistant. За информацией по компенсации смещения нуля в MAX обратитесь к разделу *Создание тензометрического глобального канала или задачи* главы 3, *Конфигурирование и тестирование*. |
| Perform Shunt Calibration<br>(Калибровка с помощью шунта) | Вы можете выполнить калибровку с помощью шунта при создании и конфигурировании каналов в DAQ Assistant. За информацией по калибровке в MAX обратитесь к разделу *Создание тензометрического глобального канала или задачи* главы 3, *Конфигурирование и тестирование*. |
| Start Measurement<br>(Начало измерений) | `DAQmx Start Task.vi` |
| Read Measurement<br>(Считывание результата) | `DAQmx Read.vi` |
| Analyze Data<br>(Обработка данных) | Некоторые примеры обработки данных включают в себя фильтрацию, масштабирование, анализ спектра, детектирование уровня. Некоторые средства обработки данных находятся в субпалитрах **Functions» Signal Analysis** и **Functions»All Functions»Analyze**. |

**Таблица 5-2.** Программирование задачи в LabVIEW (продолжение)

| Блок алгоритма | VI или функция программы |
|---|---|
| Display Data<br>(Отображение данных) | Отображать данные можно на диаграммах, графиках, шкальных индикаторах и т.д. Индикаторы расположены в субпалитрах **Controls» Numeric Indicator** и **Controls»All Controls» Graph**. |
| Continue Sampling<br>(Непрерывный сбор данных) | Непрерывный сбор данных осуществляется в цикле `While Loop`. В случае аппаратной синхронизации следует установить `DAQmx Timing.vi` в режим Continuous Samples. Для этого щелчком правой кнопки мыши по терминалу VI **sample mode** необходимо открыть контекстное меню и выбрать команду **Create»Constant,** а в меню константы выбрать значение **Continuous Samples**. |
| Stop Measurement<br>(Прекращение измерений) | `DAQmx Stop Task.vi` (не является обязательным, так как при очистке задачи останов производится автоматически). |
| Clear Task<br>(Очистка задачи ) | `DAQmx Clear Task.vi` |

## Работа с узлами свойств канала NI-DAQmx в LabVIEW

**Примечание:** Чтобы запретить CBX (SS/H) при работе с NI PXI-4220, вы должны использовать узлы свойств.

Конфигурировать каналы в LabVIEW можно вручную, используя узлы свойств. Чтобы создать узел свойств, выполните следующие действия:

1. Запустите LabVIEW.
2. Создайте узел свойств в новом или ранее созданном VI.
3. Раскройте блок-диаграмму.
4. Откройте палитру **Functions»All Functions»NI Measurements»DAQmx – Data Acquisition** и выберите узел свойств `DAQmx Channel Property Node`.
5. По умолчанию отображается свойство **Active Channels**. Оно позволяет конкретно задать каналы, которые будут конфигурироваться. Если вы хотите конфигурировать несколько каналов с разными свойствами, разделите свойства по спискам для других **Active Channels** и присвойте соответствующие каналы каждому списку свойств.

**Примечание:** Если вы не используете свойство `Active Channels`, свойства устанавливаются для всех каналов, которые задействованы в задаче.

6. Щелкните правой кнопкой мыши по терминалу **ActiveChans** узла свойств и выберите команду **Add Element**. Щелкните левой кнопкой

мыши на новый терминал **AcitveChans** и выберите в меню свойство, которые хотите определить.

7. Настройте свойство на чтение (read) или на запись (write). Для этого нажмите на терминал свойства правой кнопкой мыши, в контекстном меню перейдите к команде **Change To** и выберите один из трех вариантов: **Write**, **Read** или **Default Value**.
8. После добавления свойства в узел свойств щелкните правой кнопкой мыши по терминалу свойства, чтобы изменить его атрибуты, подключить к нему орган управления, константу или индикатор.

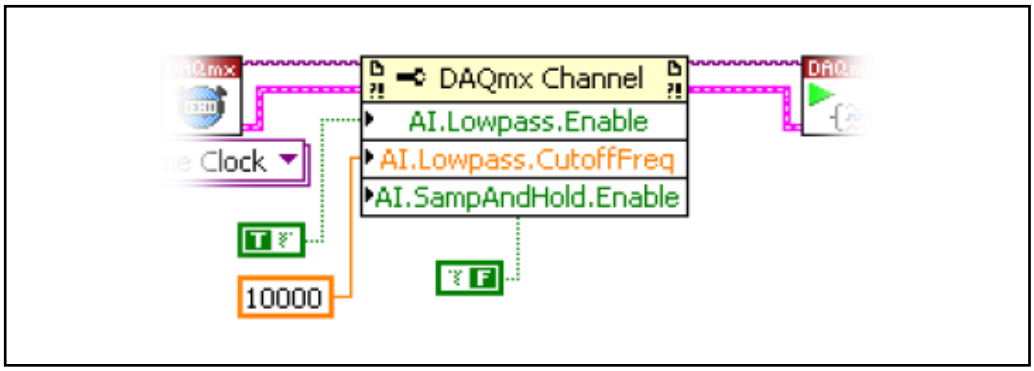



**Рисунок 5-2.** Узел свойств канала в LabVIEW, где разрешен ФНЧ с частотой среза 10 кГц и запрещена СВХ

9. Чтобы добавить другое свойство в узел свойств, нажмите правой кнопкой мыши на имеющееся свойство и щелчком левой кнопки мыши выберите команду **Add Element**. Чтобы заменить вновь созданное свойство, щелкните по его терминалу левой кнопкой мыши и выберите то свойство, с которым хотите работать.

**Примечание:** Информация об узлах свойств и отдельных свойствах NI-DAQmx содержится в справочной системе *LabVIEW Help*.

## Синхронизация и запуск

Если у вас есть несколько устройств NI PXI-4220, вы можете синхронизировать их для получения отсчетов в одно и то же время с одной и той же скоростью. При включенной СВХ и синхронизированных устройствах, вы можете использовать несколько модулей NI PXI-4220 для сбора и анализа сложных сигналов.

**Примечание:** Сдвиг по фазе между каналами одного устройства с SS/H меньше, чем между каналами различных устройств.

Для одновременного начала сбора данных несколькими устройствами NI PXI-4220, у них должен быть общий опорный сигнал начала сбора данных. Для предотвращения временного сдвига в процессе сбора у них должны быть общие импульсы опорной частоты или импульсы дискретизации.

Модуль NI PXI-4220, генерирующий сигнал запуска сбора данных и опорную частоту для всех синхронизированных устройств, называется главным устройством. Главное устройство NI PXI-4220 передает разделяемые сигналы синхронизации подчиненным устройствам по шине PXI.

Каждый модуль NI PXI-4220 содержит чип DAQ-STC и способен аппаратно генерировать тактовые импульсы на основании его импульсов опорной частоты и сигнала начала сбора данных. При использовании разделяемых импульсов опорной частоты и сигнала начала сбора данных, каждое подчиненное устройство NI PXI-4220 продолжает аппаратно генерировать импульсы дискретизации, но генерация происходит с использованием импульсов опорной частоты и сигнала начала сбора данных главного устройства NI PXI-4220. Это заставляет подчиненное устройство собирать отсчеты в те же моменты времени, что и главное.

Использование разделяемых импульсов опорной частоты является предпочтительным методом синхронизации, однако возможно также синхронизировать несколько устройств NI PXI-4220, разделяя между ними импульсы дискретизации. В данном руководстве рассматривается только первый метод.

## Синхронизация NI PXI-4220

На рисунке 5-3 показана типичная блок-схема синхронизации импульсы дискретизации и сигналов начала сбора данных двух устройств, выполнения измерений и очистки данных.

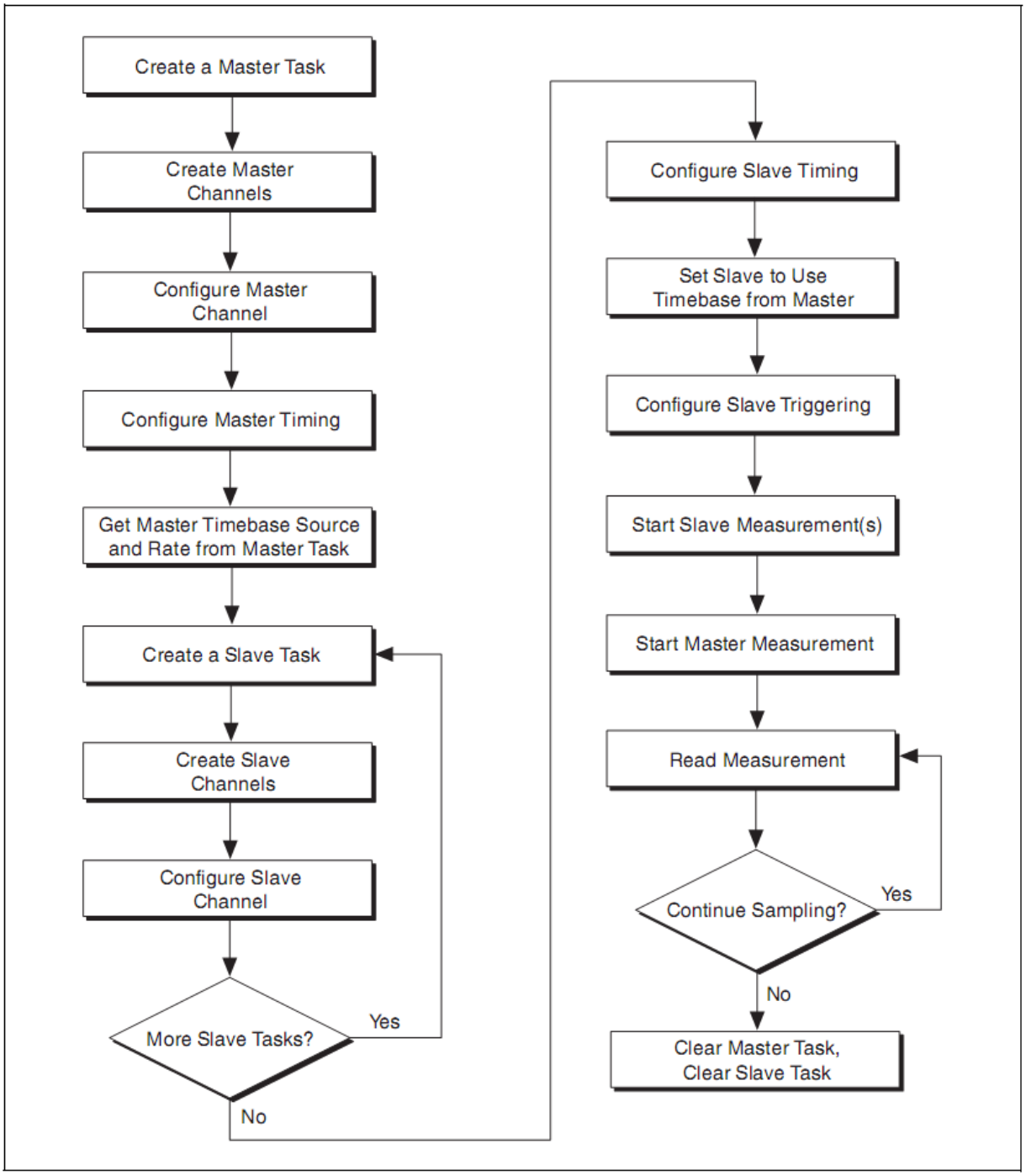



**Рисунок 5-3.** Типичная блок-схема синхронизации

## Синхронизация NI PXI-4220 в LabVIEW

В данном разделе подробно описываются блоки типичной блок-схемы синхронизации, показанной на рисунке 5-3. Для получения дополнительной информации о синхронизации модуля NI PXI-4220 в LabVIEW, а также для получения дополнительных указаний, выберите в строке меню LabVIEW **Help»VI, Function, & How-To Help.**

**Примечание:** Виртуальные приборы (VI), информация о которых приведена в таблице 5-3, расположены в субпалитре **Functions»All Functions»NI Measurements» DAQmx – Data Acquisition** и других субпалитрах, имеющих отношение к сбору данных (если не оговорено иное их расположение).

**Таблица 5-3.** Синхронизация NI PXI-4220 в LabVIEW

| Блок алгоритма | VI или функция программы |
|---|---|
| Create a Master Task<br>(Создание задачи главного устройства) | `DAQmx Create Task.vi` – (не является обязательным, если вы создали и сконфигурировали задачу с помощью DAQ Assistant). Однако, если вы работаете с ним в LabVIEW, любые изменения параметров задачи не сохраняются для задачи, созданной в MAX. |
| (Create Master Channels)<br>Создание каналов главного устройства | `DAQmx Create Virtual Channel.vi` – по умолчанию находится в режиме AI Voltage, вместо которого необходимо выбрать **Analog Input»Strain»Strain Gage**. |
| Configure Master Channels<br>(Настройка каналов главного устройства) | NI-DAQmx Channel Property Node – более подробная информация об этом узле свойств приведена в разделе *Использование узла свойств NI-DAQmx Channel Property Node в LabVIEW*. |
| Configure Master Timing<br>(Настройка параметров синхронизации главного устройства) | `DAQmx Timing.vi` (режим Sample Clock – по умолчанию) |
| Get Master Timebase Source<br>and Rate from Master Task<br>(Получение источника импульсов опорной частоты и частоты дискретизации из главной задачи ) | Используйте DAQmx Timing Property Node для получения значений `MasterTimebase.Src` и `MasterTimebase.Rate`. |
| Create a Slave Task<br>(Создание задачи подчиненного устройства) | `DAQmx Create Task.vi` – (не является обязательным, если вы создали и сконфигурировали задачу с помощью DAQ Assistant). Однако, если вы работаете с ним в LabVIEW, любые изменения параметров задачи не сохраняются для задачи, созданной в MAX. |
| Create Slave Channels<br>(Создание каналов подчиненного устройства) | `DAQmx Create Virtual Channel.vi` – по умолчанию находится в режиме AI Voltage, вместо которого необходимо выбрать **Analog Input»Strain»Strain Gage**. |
| Configure Slave Channels<br>(Настройка каналов подчиненного устройства) | NI-DAQmx Channel Property Node – более подробная информация об этом узле свойств приведена в разделе *Использование узла свойств NI-DAQmx Channel Property Node в LabVIEW*. |
| Configure Slave Timing<br>(Настройка параметров синхронизации подчиненного устройства) | `DAQmx Timing.vi` (режим Sample Clock – по умолчанию) |
| Set Slave to Use Timebase<br>from Master<br>(Установка подчиненного устройства на использование импульсов опорной частоты главного ) | Используйте DAQmx Timing Property Node для установки параметров `MasterTimebase.Src` и `MasterTimebase.Rate` равным значениям, полученным из главной задачи на этапе *Get Master Timebase Source and Rate from Master Task*. |

**Таблица 5-3.** Синхронизация NI PXI-4220 в LabVIEW (продолжение)

| Блок алгоритма | VI или функция программы |
|---|---|
| Configure Slave Triggering<br>(Настройка запуска подчиненного устройства ) | `DAQmx Trigger.vi (Start Digital Edge)`— используйте в качестве источника `MasterDevice/ai/StartTrigger`, подставляя идентификатор главного устройства в MasterDevice. |
| Start Slave Measurement(s)<br>(Начало измерения (-ий) подчиненным устройством) | `DAQmx Start Task.vi` |
| Start Master Measurement<br>(Начало измерения главным устройством) | `DAQmx Start Task.vi` |
| Read Measurement<br>(Считывание результата) | `DAQmx Read.vi` |
| Continue Sampling<br>(Непрерывный сбор данных) | Непрерывный сбор данных осуществляется в цикле `While Loop`. Нужно также установить режим Continuous Samples в функциях *Configure Master Timing* и *Configure Slave Timing.*<br>Для этого щелчком правой кнопки мыши по терминалу **sample mode** `DAQmx Timing.vi` необходимо открыть контекстное меню и выбрать команду **Create»Constant,** а в меню константы выбрать значение **Continuous Samples**. |
| Clear Master Task<br>(Очистка задачи главного устройства) | `ВП DAQmx Clear Task.vi` |
| Clear Slave Task<br>(Очистка задачи подчиненного устройства) | `ВП DAQmx Clear Task.vi` |

## Другая документация и материалы по приложениям

При установке или подключении источников сигналов, а также при разработке прикладной программы, может быть полезной дополнительная информация из следующих источников:

- Примеры программ LabVIEW, доступные из меню **Open»Examples** стартового окна. Большинство примеров, применимые к NI PXI-4220, расположены в папке **Hardware Input and Output»DAQmx»Analog Measurements** и **Hardware Input and Output»DAQmx» Synchronization»Multi-Device**.

**Примечание:** Пример программы `Acq Strain Samples (with Calibration).vi`, находящийся по адресу **Hardware Input and Output»DAQmx»Analog Measurements»Strain**, позволит вам из LabVIEW выполнять калибровку с помощью шунта.

- *PXI-4220 Supported Properties (Поддерживаемые свойства PXI-4220)* в *LabVIEW VI, Function, & How-To Help*.
- Application Note 025: *Field Wiring and Noise Considerations for Analog Signals (Подключения источников аналоговых сигналов и помехи),*

доступная на сайте `ni.com`. Обратитесь на сайт `ni.com/info` и введите код `rdfwn3`.

# Калибровка NI PXI-4220

Существует два типа калибровки для улучшения точности работы модуля NI PXI-4220. Калибровка системы включает в себя устранение погрешности от смещения нуля и отклонения коэффициента усиления – двух источников потенциальных погрешностей измерений.

## Калибровка модуля NI PXI-4220

Модуль NI PXI-4220 поставляется с сертификатом о калибровке, выполненной на заводе-изготовителе в соответствии со спецификациями, приведенными в приложении А, *Технические характеристики*. Калибровочные константы хранятся в модуле NI PXI-4220.

### Внутренняя калибровка

Внутри модуля NI PXI-4220 есть возможность подсоединения входов измерительных каналов к общему проводу (к земле) или к внутреннему источнику образцового напряжения (ИОН). В процессе внутренней двухточечной калибровки под управлением драйвера National Instruments входы каналов отсоединяются от разъема на лицевой панели и присоединяются либо к общему проводу, либо к ИОН. Программное обеспечение драйвера определяет требуемые поправочные коэффициенты для корректировки погрешности от смещения нуля и погрешности коэффициента усиления, сохраняет их в константах калибровки и автоматически использует эти коэффициенты для правильного масштабирования каждого измерения. Вам не нужно изменять какие-либо подключения на входах каналов.

Для достижения наивысшей точности следует периодически проводить внутреннюю калибровку. Вы можете осуществить самокалибровку модуля NI PXI-4220 из MAX. Для проведения самокалибровки выполните следующие действия:

1. Дважды щелкните по иконке **Measurement & Automation Explorer** на рабочем столе.
2. Отобразите список устройств и интерфейсов, щелкнув по символу + рядом с иконкой **Devices and Interfaces.**
3. Отобразите список устройств и интерфейсов, щелкнув по символу + рядом с иконкой **NI-DAQmx Devices.**
4. Щелкните правой кнопкой мыши по модулю NI PXI-4220 и выберите **Self-Calibrate**.
5. Появится диалоговое окно с сообщением, что NI PXI-4220 проводит самокалибровку.

6. Когда диалоговое окно закроется, это будет означать, что самокалибровка NI PXI-4220 успешно завершена.

**Примечание:** Для поддержания точности, указанной в *Технических характеристиках* в приложении A, NI рекомендует выполнять внутреннюю калибровку при температуре окружающей среды, отличающейся не более чем на ±1 °C от температуры, при которой производится сбор данных.

### Внешняя калибровка

NI рекомендует проводить внешнюю калибровку раз в год. Во время подготовки данного руководства для NI PXI-4220 не существует документа о процедуре внешней калибровки. Возвратите модуль NI PXI-4220 в компанию NI для проведения внешней калибровки, после выполнения которой NI выдает сертификат о калибровке. Чтобы узнать, как связаться с NI, обратитесь к документу *Signal Conditioning Technical Support Information*.

## Калибровка системы

Для повышения точности следует выполнить компенсацию смещения нуля или калибровку измерительных преобразователей системы с помощью шунта. Эти операции включает в себя калибровку всей системы, т.е. всего измерительного тракта.

### Компенсация смещения нуля

Компенсация смещения нуля убирает смещение нуля всей измерительной системы, которое обусловлено несовершенством тензодатчика, смещением нуля в электрической части измерительной системы, значительным сопротивлением соединительных линий и т.д. Чтобы узнать о том, как выполнить компенсацию смещения нуля, обратитесь к разделу *Компенсация смещения нуля* главы 4, *Принцип действия*.

### Калибровка с помощью шунта

Калибровка с помощью шунта устраняет мультипликативные погрешности, возникающие в измерительной системе, которые обусловлены несовершенством датчиков, неправильным коэффициентом тензочувствительности, температурными флюктуациями и т.д. Чтобы узнать о том, как выполнить калибровку с помощью шунта, обратитесь к разделу *Калибровка с помощью шунта* главы 4, *Принцип действия*.

A

# Приложение А. Технические характеристики

В этом приложении приведены типовые характеристики модулей NI PXI-1520 при температуре окружающей среды 25 °C и включенной CBX, если не оговорены иные условия.

## Аналоговый ввод

| | |
|---|---|
| Количество каналов | 8 |
| Коэффициенты усиления по напряжению | от 1 до 1000:<br>1; 1.15; 1.3; 1.5;<br>1.8; 2; 2.2; 2.4; 2.7; 3.1; 3.6; 4.2;<br>5.6; 6.5; 7.5; 8.7; 10; 11.5; 13; 15;<br>18; 20; 22; 24; 27; 31; 36; 42; 56;<br>65; 75; 87; 100; 115; 130; 150;<br>180; 200; 220; 240; 270; 310;<br>360; 420; 560; 650; 750; 870;1000 |
| Разрешение | 16 разрядов, 1:65536 |

**Таблица А-1.** Максимальные частоты сбора данных

| Количество каналов | CBX включена | CBX выключена |
|---|---|---|
| 1 | $100 \cdot 10^3$ Отсчетов/с | $333 \cdot 10^3$ Отсчетов/с |
| 2 | $66 \cdot 10^3$ кОтсчетов/с/канал | $100 \cdot 10^3$ Отсчетов/с/канал |

| | |
|---|---|
| Связь с источником сигнала | По постоянному току |
| Ширина полосы пропускания | 20 кГц без фильтрации |

## Погрешности измерений

| Номинальный диапазон | Коэффициент усиления | Абсолютная погрешность | | | | | | Абсолютная погрешность во всем диапазоне |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | % от результата измерений За 1 год | Максимальное смещение (мкВ) | Шум + квантование (мкВ) | | Температурный дрейф | | |
| | | | | Один отсчет | Усреднение | Мульти-пликативный (%/°C) | Аддитивный (мкВ/°C) | |
| ±10.0 В | 1 | 0.1 | 3000 | 5000 | 500 | 0.0300 | 25.00 | ±13.5 мВ |
| ±5.0 В | 2 | 0.1 | 1500 | 2500 | 250 | 0.0300 | 25.00 | ±6.8 мВ |
| ±1.8 В | 4.2 | 0.1 | 500 | 1000 | 100 | 0.0300 | 25.00 | ±2.4 мВ |
| ±1.0 В | 10 | 0.1 | 300 | 500 | 50 | 0.0300 | 25.00 | ±1.4 мВ |
| ±500.0 мВ | 20 | 0.1 | 150 | 250 | 25 | 0.0300 | 5.00 | ±675 мкВ |
| ±180.0 мВ | 42 | 0.1 | 75 | 100 | 10 | 0.0300 | 5.00 | ±265 мкВ |
| ±100.0 мВ | 100 | 0.1 | 50 | 50 | 5.0 | 0.0300 | 5.00 | ±155 мкВ |
| ±50.0 мВ | 200 | 0.1 | 50 | 25 | 2.5 | 0.0300 | 5.00 | ±103 мкВ |
| ±18.0 мВ | 420 | 0.1 | 50 | 10 | 1.0 | 0.0300 | 5.00 | ±69 мкВ |
| ±10.0 мВ | 1000 | 0.1 | 50 | 10 | 1.0 | 0.0300 | 5.00 | ±61 мкВ |

Погрешности действительны для измерений, произведенных после внутренней самокалибровки и с использованием фильтра частотой 10 кГц. Усредненные значения представляют собой среднее по 100 отсчетам в одном канале.

Погрешности измерений приведены при рабочей температуре в пределах ±1 °C от температуры внутренней калибровки и в пределах ±10 °C от температуры внешней или заводской калибровки.

Для вычисления абсолютной погрешности во всем диапазоне используется максимальное входное напряжение (например, 10 В при диапазоне ±10 В) для погрешности за год при условии усредненных данных.

## Зашита от перенапряжения

Разъемы D-SUB

Включены ±35 В

Выключены ±25 В

Разъем SMB

Включен и выключен ±15 В

## Синхронная выборка и хранение

| | |
|---|---|
| Время установка сигнала | 7 мкс (ном.) |
| Время установления режима хранения | 3 мкс (ном.) |
| Скорость спада | 30 мВ/с (ном.), 100 мВ/с (макс.) |
| Межканальная расфазировка | 200 нс (ном.) |
| Межмодульная расфазировка | 250 нс (ном.) |

## Передаточные характеристики

| | |
|---|---|
| Аддитивная погрешность (Погрешность смещения) | 150 µV (G ≤20)<br>3 mV (G <20) |
| Мультипликативная погрешность (погрешность коэффициента усиления) | ±0.1% |
| Погрешность нелинейности | не более 0.02% (приведенная) |
| Дифференциальная нелинейность | ±0.5 младшего значащего бита (ном.) |
| | ±1 младший значащий бит (макс) |
| Потери кода | 16 бит, гарантировано |

## Калибровка

| | |
|---|---|
| Рекомендуемое время прогрева | 15 минут |
| Интервал внешней калибровки | 1 год |
| Параметры встроенной калибровки | |
| Уровень | 5.000 В ±1 мВ (действительное значение, сохраненное в EEPROM) |
| Температурный коэффициент | ±5 ppm/°C |
| Долговременная стабильность | 15 ppm/√1,000h |
| Погрешности до калибровки[1] | |
| Мультипликативная погрешность до калибровки | ±18,900 ppm (макс.) |
| Только компонент преобразования сигналов | ±1% (макс.) |

[1] Погрешности до калибровки применяются только при использовании программирования на уровне регистров. Пользователи NI-DAQmx не видят погрешностей до калибровки.

## Характеристики усилителя

| | |
|---|---|
| Входное сопротивление (на постоянном токе) | > 1 ГОм |
| Разность входных токов смещения | ±20 нА (макс.) |
| Входной ток смещения | ±20 нА (макс.) |
| Коэффициент ослабления синфазного сигнала (от 0 до 60 Гц) | |
| $К_у \geq 20$ | >85 дБ |
| $К_у < 20$ | >60 дБ |
| Перекрестные наводки при 1 кГц, $К_у = 200$ | ≥95 дБ |

## Динамические характеристики

| | |
|---|---|
| Минимальный интервал дискретизации (погрешность ±0.0015%, 16 бит) | 5 мкс |
| Уровень широкополосного шума ($К_у$=200, фильтр 10 кГц) | $40 \cdot 10^{-6}$·мкВ (размах) |
| Уровень собственного шума ($К_у$=200, диапазон частот от 0.1 до 10 Гц) | $1{,}5 \cdot 10^{-6}$· мкВ (размах) |
| Плотность собственного шума на частоте 1000 Гц ($К_у$=200) | 16 нВ/√Гц |

## Фильтр

| | |
|---|---|
| Тип ФНЧ | Баттерворта 4-полюсный (спад 24 дБ/октава) |
| Частота среза ФНЧ | 10 Гц, 100 Гц, 1 кГц, 10 кГц, или фильтр отключен |
| Полоса пропускания при отключенном ФНЧ | 20 кГц (по уровню -3 дБ) |
| Подавление помех от сети питания (частота фильтра 10 Гц) | - 62 дБ (при частоте 60 Гц) |

## Нестабильность

| | |
|---|---|
| Время прогрева | 15 мин (рекомендуемое) |

| | |
|---|---|
| Температурный дрейф $К_у$ | |
| (с самокалибровкой при рабочей температуре) | ±40 ppm/°C (макс.) |
| Без самокалибровки | ±45 ppm/°C (макс.) |
| Температурный дрейф нуля (с самокалибровкой при рабочей температуре) | |
| $К_у \geq 20$ | ±2 мкВ/°C (ном.),<br>±5 мкВ/°C (макс.) |
| $К_у < 20$ | ±15 мкВ/°C (ном.),<br>±25 мкВ/°C (макс.) |
| Температурный дрейф нуля (без самокалибровки при рабочей температуре) | |
| $К_у \geq 20$ | ±18 мкВ/°C (ном.),<br>±23 мкВ/°C (макс.) |
| $К_у < 20$ | ±350 мкВ/°C (ном.),<br>±375 мкВ/°C (макс.) |

## Характеристики компенсации смещения нуля

| | |
|---|---|
| Диапазон | ±4% от напряжения питания, 20000 единиц разрешения<br>(диапазон компенсации смещения нуля ±80,000 με, разрешение 4 με для 1/4 моста при коэффициенте тензочувствительности 2.0) |

## Характеристики питания

| | |
|---|---|
| Тип | Постоянное напряжение |
| Диапазон напряжений | от 0.0 до 10.0 В, поделенный на 1024 равных интервала |
| Погрешность | ±20 мВ<br>±0.3% от номинала<br>±0.1% от значения, считываемого из цепи удаленной обратной связи |
| Максимальный рабочий ток на всех диапазонах | 29 мА |
| Защита от короткого замыкания | Есть |
| Отклонение при изменении | |

| | |
|---|---|
| нагрузки от ∞ (холостой ход) до 120 Ом | |
| С использованием цепи удаленной обратной связи | ±0.003% |
| Без цепи удаленной обратной связи | ±0.30% |
| Температурный дрейф | ±0.005%/°C,<br>±30 мкВ/°C (макс.) |
| Уровень шума (в диапазоне частот от 0 до 10 кГц) | 200 мкВ (размах) |
| Цепь удаленной обратной связи | Погрешность <0.02% на 1 Ом сопротивления линий (обеих линий) |
| Защита | От перенапряжения, параллельно зажимам источника питания, шунт на землю |

## Дополнение моста

| | |
|---|---|
| 1/2 моста | Два прецизионных резистора по 5 кОм |
| 1/4 моста | Резистор 350 Ом, установленный в гнезда PXI-4220 (резистор номиналом 120 Ом поставляется в комплекте) |

**Примечание:** Дополнение 1/2 моста выполнено внутри модуля и конфигурируется программным путем. Резистор, дополняющий 1/4 моста, находится в передней части и установлен в гнезда внутри PXI-4220. Сопротивления поставляемых с модулем PXI-4220 резисторов типа RN-55 (0.25 Вт) равны 350 Ом (установленный) и 120 Ом (в комплекте). Они имеют допуск ±0.1% и максимальный температурный коэффициент сопротивления (ТКС) 10 ppm/°C.

## Характеристики калибровки с помощью шунта

| | |
|---|---|
| Тип | По двум независимым точкам |
| Резистор | Резисторы по 100 кОм установлены в гнезда внутри PXI-4220 |
| Сопротивление ключа | 32 Ом (ном.), 50 Ом (макс.) |
| Утечки ключа в разомкнутом состоянии | <1 нА |

| | |
|---|---|
| Напряжение пробоя ключа | ±60 В (пост. ток) |

**Примечание:** Калибровочные резисторы (шунты) находятся в передней части PXI-4220, и установлены в гнезда. Вместе с модулем PXI-4220 поставляются резисторы 100 кОм типа RN-55 (0.125 Вт) с допуском ±0.1% и максимальным ТКС 10 ppm/°C.

## Цифровые схемы, синхронизация, питание

| | |
|---|---|
| Цифровой запуск | |
| Количество сигналов запуска | 2 |
| Назначение | Сигналы начала сбора данных, останова, разрешения, тактовый сигнал |
| Источник | PFI0/TRIG1 (передний разъем SMB), PXI_Trig<0..5>, PXI_Star (шина запуска PXI) |
| Фронт | положительный или отрицательный; программный выбор |
| Совместимость | 5 В/TTL |
| Отклик | передний или задний фронт |
| Длительность импульса | 10 нс (мин.) |
| Импеданс | 10 кОм |
| Связь с источником | По постоянному току |
| Шина запуска PXI | |
| Количество линий запуска | 6 |
| Запуск радиальный (Star trigger) | 1 |
| Размер буфера FIFO | 512 отсчетов |
| Передача данных | Прямой доступ к памяти (DMA), прерывания, программируемый ввод-вывод |
| Режимы DMA | Блочный - Scatter-gather (по одному слову - single transfer, по требованию - demand transfer) |
| Размер памяти конфигураций | 512 слов |
| Шинный интерфейс | Главный, подчиненный |
| Требования по питанию | 1 А при напряжении постоянного тока ±5 В (±5%) |

## Массогабаритные характеристики

| | |
|---|---|
| Габаритные размеры (без учета разъемов) | 16.0 × 10.0 × 2.0 см |
| Разъем для подключения аналоговых входных сигналов | 9-контактный D-SUB |

## Предельное рабочее напряжение

| | |
|---|---|
| (Сигнал + синфазная помеха) | Напряжение на каком-либо из входов S*X*+ (контакт 1) и S*X*– (контакт 6) должно оставаться в пределах ±10 В относительно земли. Разность напряжений на этих входах также должна не выходить за пределы ±10 В. Максимальное рабочее напряжение складывается из напряжения входного сигнала и напряжения синфазной помехи. |

## Условия эксплуатации

| | |
|---|---|
| Рабочий диапазон температур | от 0 до 55 °C |
| Диапазон температур хранения | от -20 до 70 °C |
| Относительная влажность | от 10 до 90% (при отсутствии конденсата) |
| Максимальная высота над уровнем моря. | 2000 м |
| Степень загрязнения окружающей среды (эксплуатация только в помещении) | 2 |

## Требования безопасности

Изделие соответствует требованиям нижеследующих стандартов по электробезопасности лабораторного оборудования для измерений и автоматизации:

IEC 61010-1, EN 61010-1
UL 61010-1
CAN/CSA-C22.2 No 61010-1

**Примечание:** Информацию о сертификатах можно найти на товарной этикетке или на сайте ni.com/certification, проведя поиск по номеру или модели продукта и выбрав соответствующую ссылку в столбце Certification.

## Электромагнитная совместимость

| | |
|---|---|
| Излучения | EN 55011 Class A at 10 mFCC Part 15A above 1 GHz |
| Защищенность | EN 61326:1997 + A2:2001,Table 1 |
| Электромагнитная совместимость/радиопомехи | CE, C-Tick, and FCC Part 15(Class A) Compliant |

**Примечание:** Для обеспечения электромагнитной совместимости эксплуатируйте изделие только с экранированными кабелями.

## Соответствие требованиям Совета Европы

Изделие PXI-4220 соответствует основным требованиям следующих директив CE:

| | |
|---|---|
| Директива по безопасности низковольтного оборудования | 73/23/EEC |
| Директива по ЭМС | 89/336/EEC |

**Примечание:** Любую дополнительную информацию о совместимости изделия можно узнать из Декларации о соответствии, которую можно найти на сайте `ni.com/certification` по серии и номеру модели, перейдя по соответствующей ссылке в столбце **Certification**.

B

# Приложение B
# Сигналы синхронизации

В этом приложении содержится дополнительная информация о сигналах синхронизации, рассмотренных в главе 4, *Принцип действия.*

## Подключения сигналов синхронизации

**Внимание:** Превышение максимального входного напряжения, указанного в Приложении A, *Технические характеристики*, может привести к отказу устройства и компьютера. NI не несет ответственности за повреждения, полученные из-за неправильного подключения сигналов синхронизации.

## Подключение входа интерфейса с программируемой функцией (PFI)

Вы можете управлять извне семью внутренними сигналами синхронизации с контактов PFI0 и шины запуска PXI. Источник каждого из этих сигналов выбирается программно из PFI0, PXI_Trig<0..5> или PXI_Star. Подобная гибкая схема подключения снижает необходимость физического переподключения разъема ввода-вывода устройства для приложений, требующих альтернативных соединений.

В качестве входного каждый сигнал PFI может быть индивидуально сконфигурирован на срабатывание по фронту или по уровню, при этом для него может быть задан активный уровень или фронт. Вы можете выбирать активный фронт или уровень для любого сигнала синхронизации, но срабатывание по фронту или по уровню зависит от конкретного управляемого синхронизирующего сигнала. Требования к срабатыванию для каждого сигнала синхронизации перечислены в соответствующих разделах.

В режиме срабатывания по фронту требуемая минимальная длительность импульса составляет 10 нс. Данное требование применяется как при активном положительном, так и при активном отрицательном фронте. В режиме срабатывания по фронту не существует требований к максимальной длительности импульса.

В режиме срабатывания по уровню не существует ограничений на длительность импульса, накладываемых самими линиями PFI. Ограничения могут быть наложены конкретным управляемым сигналом синхронизации. Эти ограничения перечислены в разделах, описывающих соответствующие сигналы.

## Подключение сигналов синхронизации DAQ

К сигналам синхронизации относятся: AI START TRIG, AI REF TRIG, AI SAMP CLK, AI CONV CLK, AI PAUSE TRIG, AI SAMPLE CLK TIMEBASE и AI HOLD COMPLETE.

Сбор данных с постзапуском (Posttriggered DAQ) позволяет просматривать данные, собранные после получения сигнала запуска. На рисунке B-1 показана типичная временная диаграмма сбора данных с постзапуском.

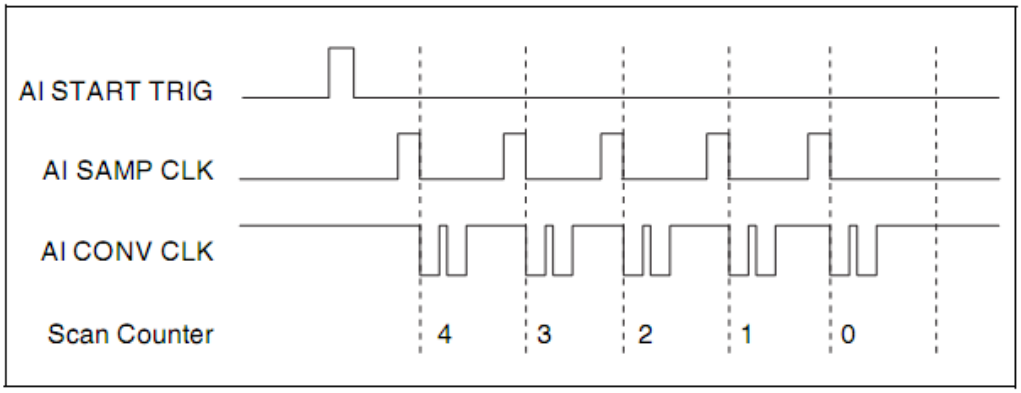



**Рисунок B-1.** Типичная последовательность сбора данных с постзапуском

Сбор данных с предзапуском (Pretrigger DAQ) позволяет просматривать данные, которые получены как до интересующего события (запуска), так и после него. На рисунке B-2 приведена типичная временная диаграмма сбора данных с предзапуском.

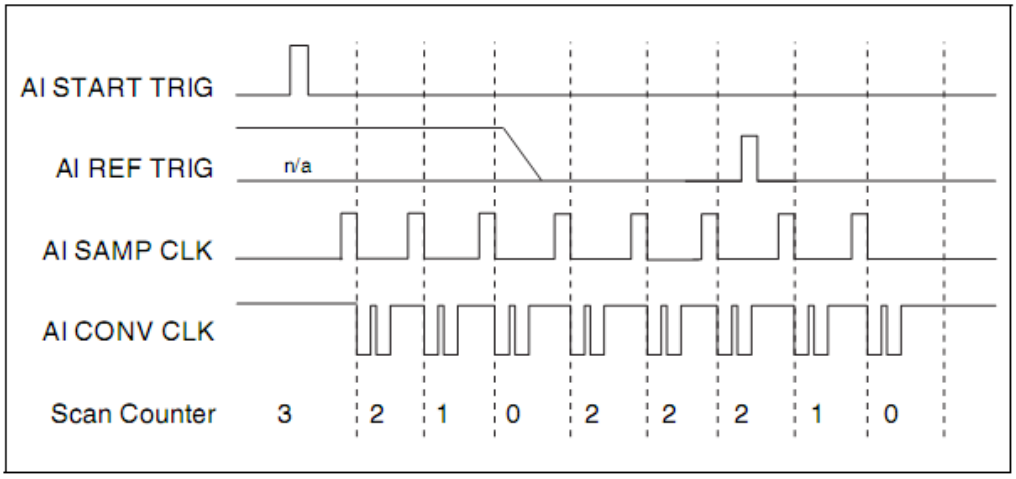



**Рисунок B-2.** Типичная последовательность сбора данных с предзапуском

## Сигнал AI START TRIG

Сигнал AI START TRIG может быть входным или выходным на линиях PFI0 или PXI_Trig<0..5> и только входным на линии PXI_Star.

Входной сигнал AI START TRIG настроен на срабатывание по фронту.

Вы можете выбрать источником сигнала AI START TRIG линию PFI0 и задать активным положительный или отрицательный фронт. Выбранный фронт сигнала AI START TRIG запускает последовательность операций сбора данных как с постзапуском, так и с предзапуском. На рисунках B-1 и B-2 показана взаимосвязь сигнала AI START TRIG и последовательности операций.

Выходной сигнал AI START TRIG отображает действие, запускающее последовательность, даже если сбор данных запускается извне другим PFI. Выходной сигнал представляет собой импульсы длительностью от 50 до 100 нс с высоким активным уровнем. При включении питания выход устанавливается в состояние с высоким импедансом.

На рисунках B-3 и B-4 показаны требования к временным параметрам входного и выходного сигнала AI START TRIG.

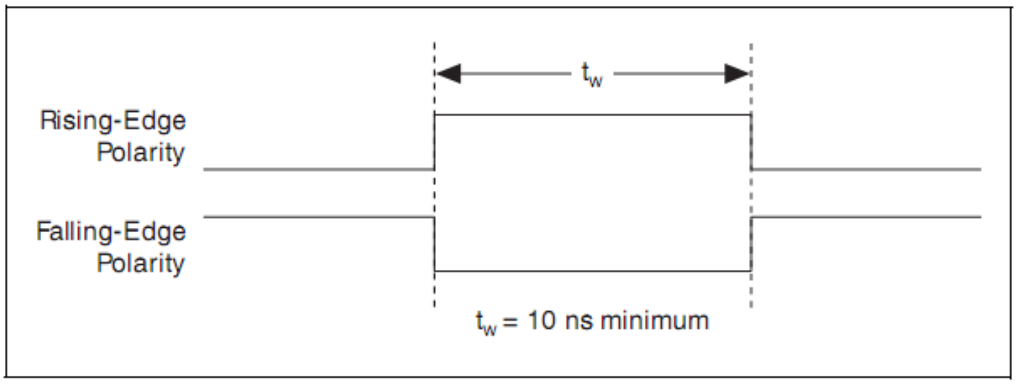



**Рисунок B-3.** Временные параметры входного сигнала AI START TRIG

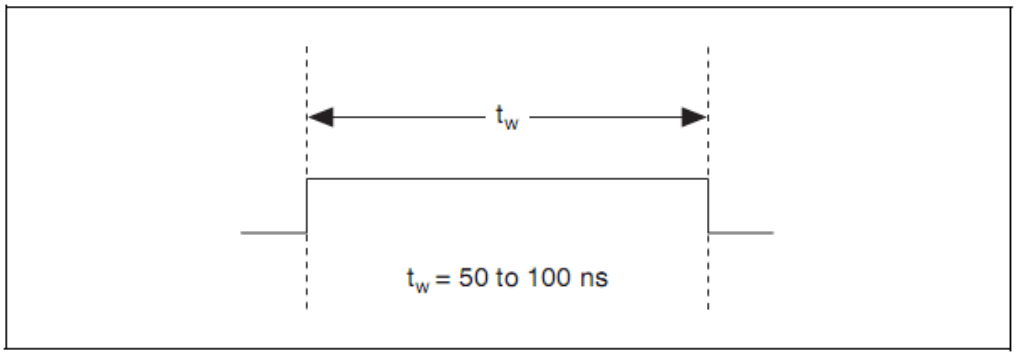



**Рисунок B-4.** Временные параметры выходного сигнала AI START TRIG

Сигнал AI START TRIG также используется для запуска операций с предзапуском. В приложениях, где используется сбор данных с предзапуском, сигнал AI START TRIG генерируется программным запуском, если только источником этого сигнала не выбран контакт PFI.

Обратитесь к разделу *AI REF TRIG Signal* за подробным описанием использования сигналов AI START TRIG и AI REF TRIG в операциях сбора данных с предзапуском.

## Сигнал AI REF TRIG

Сигнал AI REF TRIG может быть входным на линиях PFI0, PXI_Trig<0..5> или PXI_Star. На рисунке B-2 показана взаимосвязь сигнала AI REF TRIG и последовательности операций.

Входной сигнал AI REF TRIG настроен на срабатывание по фронту.

Вы можете задать активным положительный или отрицательный фронт. Выбранный фронт сигнала AI START TRIG запускает фазу операции постзапуска в последовательности операций с предзапуском.

В режиме с предзапуском сигнал AI START TRIG инициирует сбор данных. Счетчик опросов (scan counter, SC) указывает минимальное количество опросов до распознавания сигнала AI REF TRIG. После уменьшения значения SC до нуля в него загружается количество опросов в фазе постзапуска при продолжении сбора данных. Устройство игнорирует сигнал AI REF TRIG, если он поступил до уменьшения счетчика SC до нуля. После получения выбранного активного фронта AI REF TRIG, устройство собирает определенное количество отсчетов и прекращает сбор данных. В режиме с предзапуском устройство собирает данные и до, и после получения сигнала AI REF TRIG.

Выходной сигнал AI REF TRIG отображает фазу постзапуска в последовательности операций предзапуска, даже если сбор данных запускается извне другим PFI. AI REF TRIG не используется при сборе данных с постзапуском. Выходной сигнал представляет собой импульсы длительностью от 50 до 100 нс с высоким активным уровнем. При включении питания выход устанавливается в состояние с высоким импедансом.

На рисунках B-5 и B-6 показаны требования к временным параметрам входного и выходного сигнала AI REF TRIG.

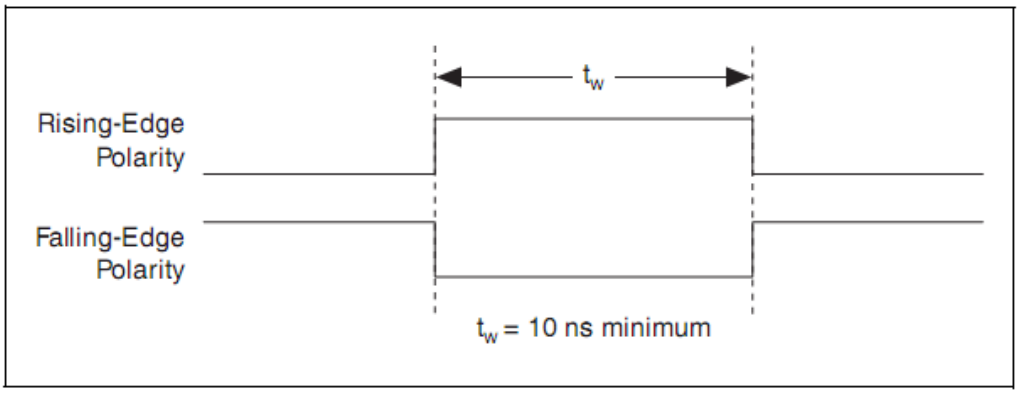



**Рисунок B-5.** Временные параметры входного сигнала AI REF TRIG

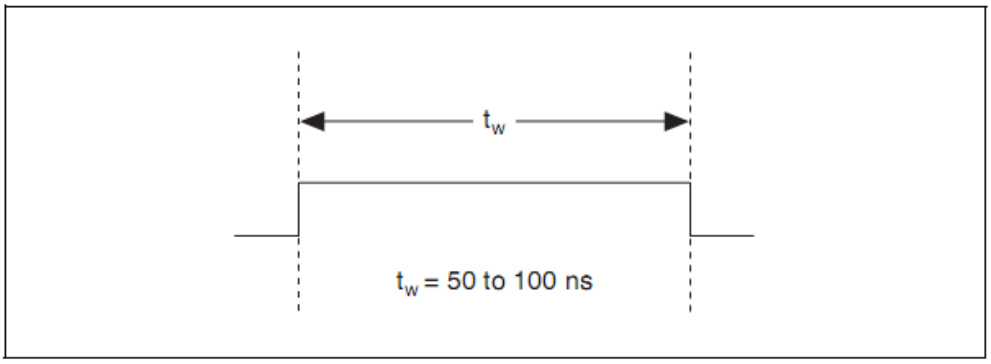



**Рисунок B-6.** Временные параметры выходного сигнала AI REF TRIG

## Сигнал AI SAMP CLK

Сигнал AI SAMP CLK может быть внешним входным сигналом на линиях PFI0, PXI_Trig<0..5> или PXI_Star, а также выходным сигналом на любой линии шины запуска PXI.

На рисунках B-1 и B-2 показана взаимосвязь сигнала AI SAMP CLK в последовательности операций.

Входной сигнал AI SAMP CLK настроен на срабатывание по фронту. Вы можете задать активным положительный или отрицательный фронт. Выбранный фронт сигнала AI SAMP CLK запускает опрос. Счетчик SI2 запускается при выборе внутреннего запуска AI CONV CLK.

Выходной сигнал AI SAMP CLK отражает действительный стартовый импульс, инициирующий опрос, даже если стартовые импульсы запущены извне другим PFI, PXI_Trig<0..5> или PXI_Star. Существуют два возможных режима формирования выходного сигнала. Первый – импульсы длительностью от 50 до 100 нс с высоким активным уровнем, которые означают начало опроса. Второй - импульсы с высоким активным уровнем формируются до начала последнего преобразования в опросе, эти импульсы свидетельствуют о выполнении опроса. Сигнал AI SAMP CLK снимается, $t_{off}$, после начала последнего преобразования в опросе. При включении питания выход устанавливается в состояние с высоким импедансом.

На рисунках B-7 и B-8 показаны требования к временным параметрам входного и выходного сигнала AI SAMP CLK.

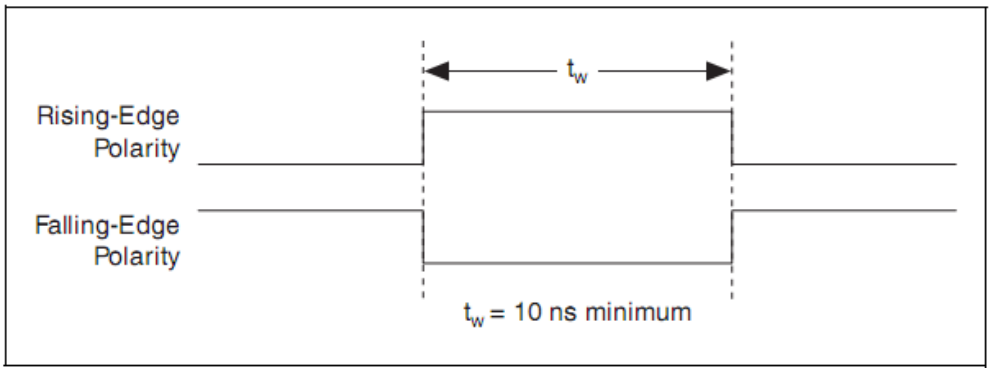


**Рисунок B-7.** Временные параметры входного сигнала AI SAMP CLK

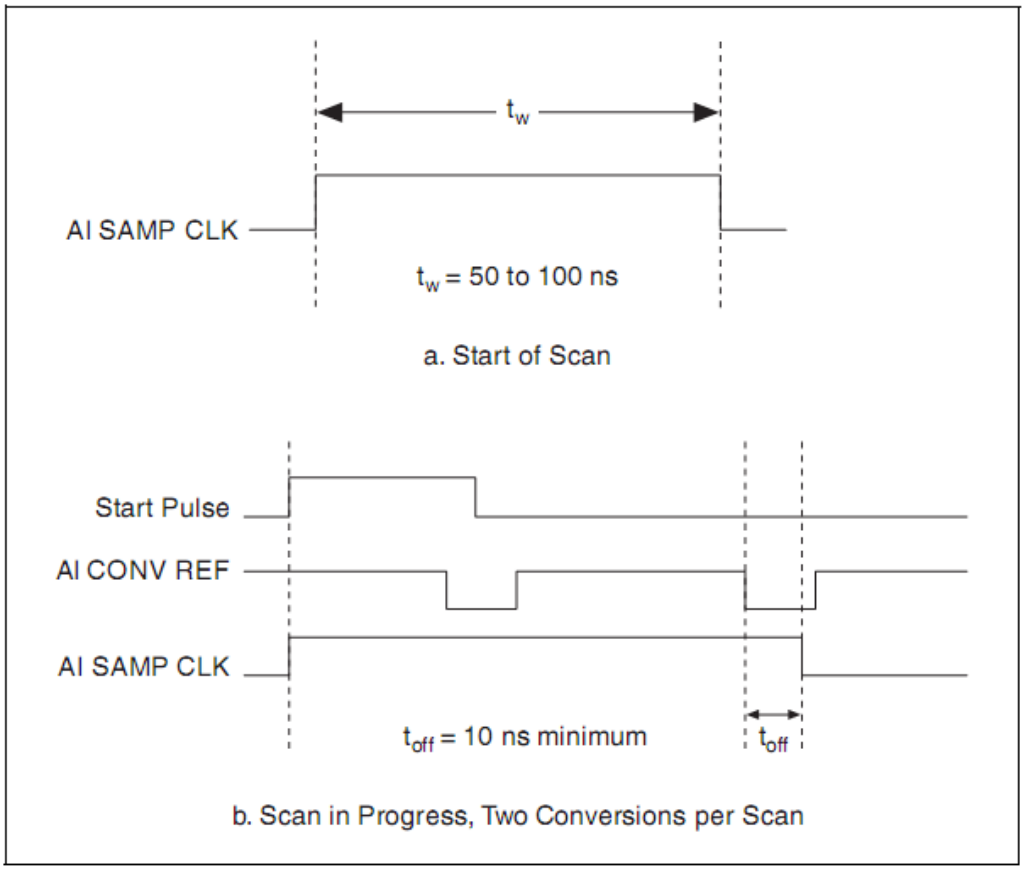



**Рисунок B-8.** Временные параметры выходного сигнала AI SAMP CLK

Импульсы AI CONV CLK замаскированы, пока устройство генерирует сигнал AI SAMP CLK. Если вы используете внутренне сгенерированные преобразования, первый импульс AI CONV CLK появится, когда встроенный счетчик SI2 станет равным нулю. При выборе внешних импульсов AI CONV CLK первый внешний импульс после AI SAMP CLK генерирует преобразование. Разделяйте импульсы AI SAMP CLK по крайней мере одним периодом опроса.

Счетчик устройства генерирует внутренний сигнал AI SAMP CLK, если вы не выбрали внешний источник. Сигнал AI START TRIG запускает этот счетчик, а прикладная программа или счетчик отсчетов останавливают его.

Опросы, генерируемые внутренним или внешним сигналом AI SAMP CLK запрещены, пока они не появятся в последовательности операций. Опросы в последовательности могут быть разрешены аппаратным сигналом AI PAUSE TRIG, либо программно формируемой командой.

## Сигнал AI CONV CLK

Сигнал AI CONV CLK может быть внешним входным сигналом на линиях PFI0, PXI_Trig<0..5> или PXI_Star, а также выходным сигналом на линии PXI_Trig<0..5>.

На рисунках B-1 и B-2 показана взаимосвязь сигнала AI CONV CLK и последовательности операций.

Входной сигнал AI CONV CLK настроен на срабатывание по фронту. Вы можете задать активным положительный или отрицательный фронт. Выбранный фронт сигнала AI CONV CLK запускает аналого-цифровое преобразование.

Выходной сигнал AI CONV CLK отображает действительные импульсы преобразования, подающиеся на АЦП, даже если преобразования генерируется извне другим PFI. Выходной сигнал представляет собой импульсы длительностью от 50 до 100 нс с низким активным уровнем. При включении питания выход устанавливается в состояние с высоким импедансом.

На рисунках B-9 и B-10 показаны требования к временным параметрам входного и выходного сигнала AI CONV CLK.

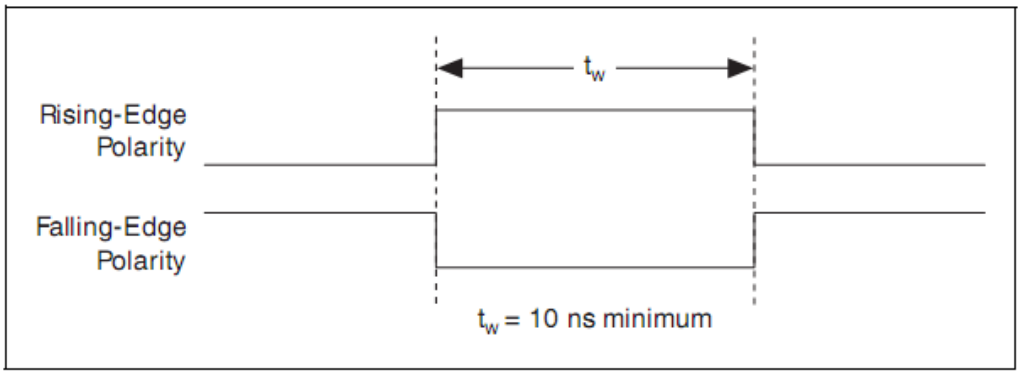



**Рисунок B-9.** Временные параметры входного сигнала AI CONV CLK

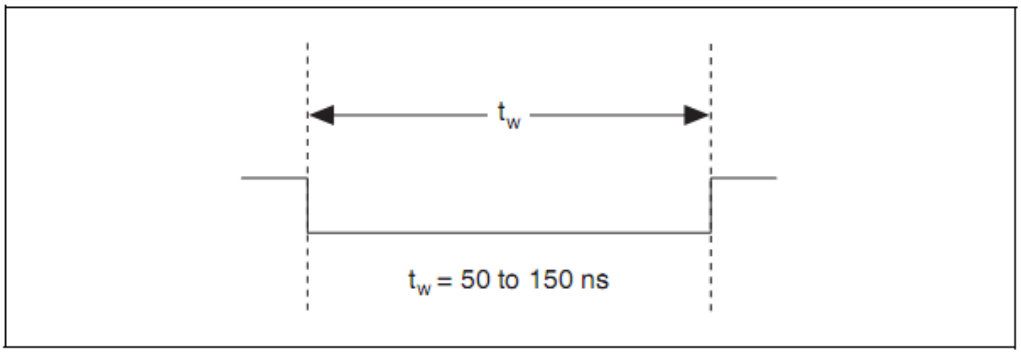



**Рисунок B-10.** Временные параметры входного сигнала AI CONV CLK

АЦП переключается в режим фиксации через 60 нс после выбранного фронта. Время задержки является функцией от температуры и не изменяется между преобразованиями. Разделяйте импульсы AI CONV CLK по крайней мере одним периодом преобразования.

Сигнал AI CONV CLK генерирует  счетчик интервалов выборки NI PXI-4220, если вы не выбрали внешний источник. Сигнал AI SAMP CLK запускает счетчик, который включает обратный отсчет и перезагружается,

пока не заканчивается опрос. Далее счетчик снова перезагружается при подготовке к следующему импульсу AI SAMP CLK.

Аналого-цифровые преобразования, сгенерированные внутренним или внешним сигналом AI CONV CLK запрещены, пока они не появятся в последовательности операций. Опросы в последовательности могут быть разрешены аппаратным сигналом AI PAUSE TRIG, либо программно формируемой командой.

## Сигнал AI PAUSE TRIG

Сигнал AI PAUSE TRIG может быть внешним входным сигналом на линиях PFI0, PXI_Trig<0..5> или PXI_Star, но не может быть выходным сигналом на разъеме ввода-вывода.

AI PAUSE TRIG может замаскировать опросы в последовательности. Вы можете настроить контакт, выбранный источником сигнала AI PAUSE TRIG, на срабатывание по уровню, и выбрать активным высокий или низкий уровень.

В режиме срабатывания по уровню сигнал AI SAMP CLK замаскирован, и опрос не происходит.

AI PAUSE TRIG не может остановить уже выполняющийся опрос или продолжить ранее завершенный опрос. Другими словами, после начала опроса AI PAUSE TRIG не останавливает преобразования до начала следующего опроса. И наоборот, если преобразования завершены, AI PAUSE TRIG не инициирует их снова до начала следующего опроса.

## Сигнал AI SAMPLE CLK TIMEBASE

Сигнал AI SAMPLE CLK TIMEBASE может быть внешним входным сигналом на линиях PFI0, PXI_Trig<0..5> или PXI_Star, но не может быть выходным сигналом на разъеме ввода-вывода.

Встроенный счетчик интервалов опросов (SI) использует сигнал AI SAMPLE CLK TIMEBASE в качестве тактирующего при генерации сигнала AI SAMP CLK. Настройте контакт, выбранный вами источником сигнала AI SAMPLE CLK TIMEBASE на срабатывание по уровню с активным высокими или низкими уровнем.

Максимально разрешенная частота – 20 МГц, при минимальной длительности 23 нс высокого или низкого активного уровня импульса. Минимальная частота не ограничена. Сигнал AI SAMPLE CLK TIMEBASE генерируется внутренним задающим генератором частотой 20 МГц или 100 кГц, если вы не выбрали внешнего источника.

На рисунке B-11 показаны требования к временным параметрам сигнала AI SAMPLE CLK TIMEBASE.

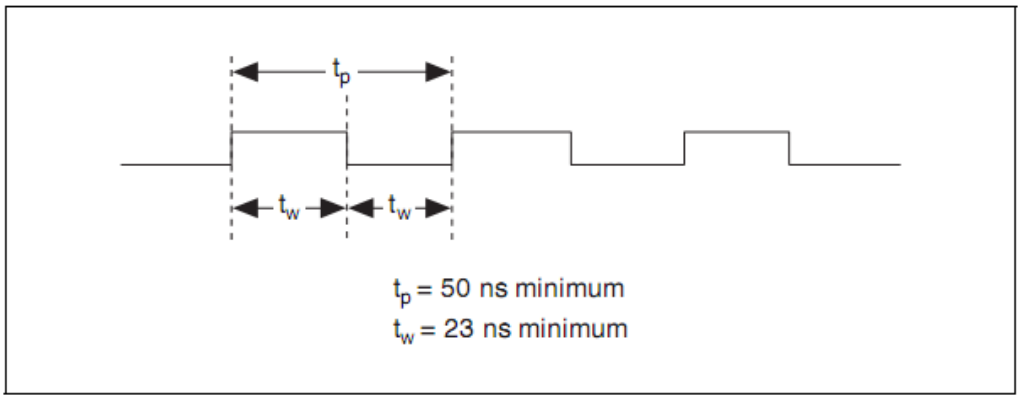



**Рисунок B-11.** Временные параметры сигнала AI SAMPLE CLK TIMEBASE

## Сигнал AI HOLD COMPLETE

AI HOLD COMPLETE - исключительно выходной сигнал, который представляет собой импульсы, передний фронт которых формируется примерно через 50-100 нс после начала аналого-цифрового преобразования. Полярность этого выхода настраивается программно, но, как правило, так, чтобы передний фронт при изменении от низкого уровня к высокому мог тактировать мультиплексоры внешнего аналогового входа, указывая, что входной сигнал был измерен и может быть удален. Длительность импульса этого программно управляемого сигнала составляет от 400 до 500 нс. На рисунке B-12 показаны требования к временным параметрам сигнала AI HOLD COMPLETE.

**Примечание:** Полярность сигнала AI HOLD COMPLETE нельзя задать программно с помощью NI-DAQmx. В этом случае это импульсы с положительной полярностью.

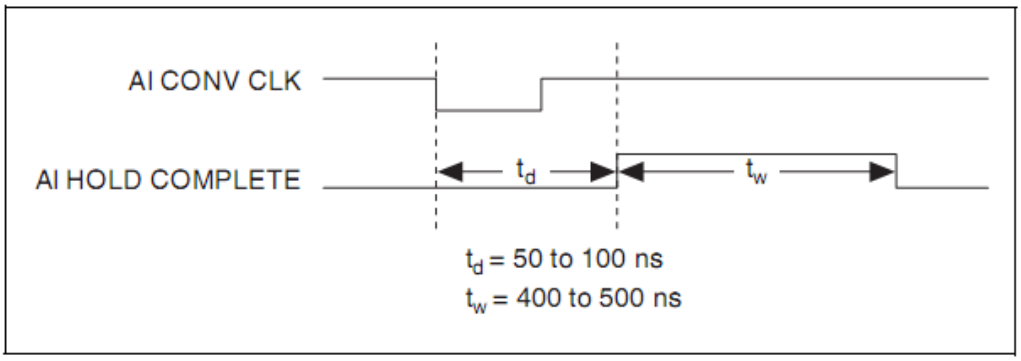



**Рисунок B-12.** Синхронизация сигнала AI HOLD COMPLETE

C

# Приложение C. Деинсталляция модуля NI PXI-4220

В этом приложении объясняется, как деинсталлируется модуль NI PXI-4220 из MAX и из шасси PXI.

**Примечание:** Вы должны физически извлечь модуль NI PXI-4220 из шасси, прежде чем сможете удалить его из MAX.

## Извлечение модуля NI PXI-4220 из шасси PXI

Прежде чем извлекать модуль из шасси, следует ознакомиться с инструкцией и мерами предосторожности при работе с шасси PXI. Чтобы извлечь модуль из шасси, выполните следующие действия в соответствии с рисунком C-1:

6. Выключите питание шасси PXI. *Ни в коем случае* не извлекайте модуль, если шасси находится во включенном состоянии.
7. Вращением против часовой стрелки выкручивайте винты, которые держат модуль NI PXI-4220 в шасси, в то же время, не давая им выпасть.
8. Извлеките модуль, плавно нажимая на рычаг инжектора/эжектора, пока модуль не выйдет из шасси.
9. Полностью выдвинете модуль из шасси.

Когда вы в следующий раз перезагрузите компьютер, в MAX рядом со строкой модуля NI PXI-4220 будет красный кружок с белым крестиком (**X**) внутри.

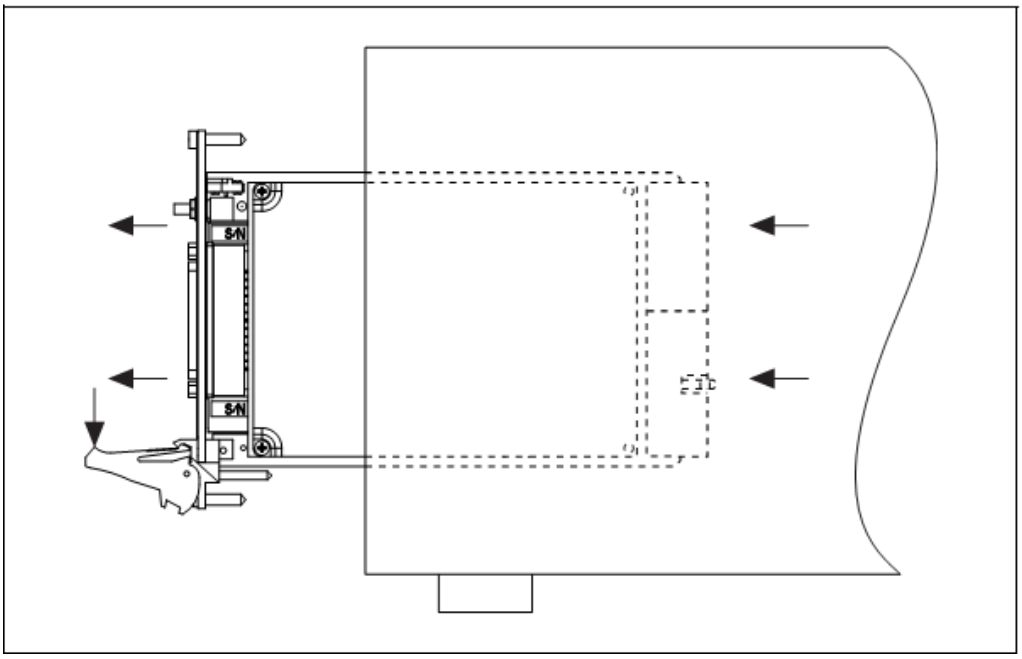



**Рисунок C-1.** Положение рычага инжектора/эжектора перед извлечением модуля

## Деинсталляция модуля NI PXI-4220 из оболочки MAX

Чтобы удалить модуль из MAX, после запуска MAX необходимо выполнить следующие действия:

10. Раскройте категорию **Devices and Interfaces**, чтобы отобразился список установленных устройств и интерфейсов**.** Рядом с модулем NI PXI-4220 должен быть красный кружок с белым крестиком **(X)** внутри, означающим, что модуль был физически извлечен из шасси.
11. Щелкните правой кнопкой мыши по модулю NI PXI-4220 и выберите команду **Delete**.
12. В появившемся окне запроса на подтверждение нажмите на кнопку **Yes**, чтобы продолжить удаление модуля, или **No**, чтобы отменить данное действие.

Теперь модуль NI PXI-4220 удален из списка установленных устройств в MAX.

# Приложение D. Часто задаваемые вопросы

Далее приведены часто задаваемые вопросы по применению модуля NI PXI-4220.

**Какая версия драйверов NI-DAQ поддерживает модуль NI PXI-4220, и как я могу получить самую последнюю версию?**

Вам необходим набор драйверов NI-DAQ версии 7.0 и выше. Зайдите на Web-сайт ni.com и перейдите по ссылке **Download Software»Drivers and Updates»Search Drivers and Updates**. В поле поиска введите ключевое слово `NI-DAQ`, чтобы найти последнюю версию драйверов NI-DAQ для установленной на вашем компьютере операционной системы.

**Какого поведения модуля NI PXI-4220 следует ожидать, когда к нему не подключены сигналы?**

В большинстве случаев, когда к модулю NI PXI-4220 не подключены сигналы, инструментальные усилители "дрейфуют", и, наиболее вероятно, что сигнал станет равным положительному или отрицательному значению напряжения питания. Следует отметить, что поведение модулей NI PXI-4220 может различаться в зависимости от системы и состояния.

**Каким образом можно управлять коэффициентом усиления, напряжением питания, режимом работы фильтра, конфигурацией моста, настройками потенциометров, калибровочными шунтами с помощью LabVIEW?**

Коэффициент усиления каждого канала модуля NI PXI-4220 устанавливается автоматически на основании пределов измерения. Хотя напряжение питания, режим работы фильтра и конфигурация моста обычно задаются в MAX, вы можете управлять или изменять эти параметры программно, используя **DAQmx Channel Property Node** в LabVIEW.

**Существуют ли какие-либо специальные требования к каналу модуля NI PXI-4220, который не подключен к мосту Уитсона?**

При попытке измерения напряжения без учета преобразования сигналов от датчика мостового типа, вам необходимо установить нулевое напряжение питания и конфигурацию моста «полный мост», поскольку константы для компенсации смещения нуля получены при нулевом напряжении питания. Если напряжение питания не будет равным нулю, то под влиянием погрешностей, вносимых схемами автоматической компенсации нуля,

аддитивная погрешность модуля NI PXI-4220 может выйти за пределы, приведенные в технических характеристиках. Вы не можете осуществлять компенсации смещения нуля при нулевом напряжении питания.

**Как программировать NI PXI-4220?**

Обратитесь к разделу 5, *Разработка приложения*, или к справке вашей среды разработки приложений для получения информации о программировании. Для NI PXI-4220 не существует руководства по программированию на уровне регистров.

**Какое напряжение питания нужно установить на модуле NI PXI-4220 при питании мостовых измерительных преобразователей от внешнего источника напряжения?**

Даже при питании преобразователей от внешнего источника напряжения, для компенсации смещения нуля в модуле NI PXI-4220 все равно используется внутреннее напряжение питания. Следует установить внутреннее значение напряжения питания равным внешнему, чтобы обеспечить точность компенсации смещения нуля.

**Как выполнять внешнюю калибровку модуля NI PXI-4220?**

При выпуске модуля NI PXI-4220 документа по внешней калибровке не существовало. Чтобы проверить, доступен ли документ по внешней калибровке модуля NI PXI-4220 в настоящее время, обратитесь к разделу **Manual Calibration Procedures** сайта `ni.com/calibration`.

# Глоссарий

| Символ | Приставка | Значение |
|---|---|---|
| p (п) | pico (пико) | $10^{-12}$ |
| n (н) | nano (нано) | $10^{-9}$ |
| μ (мк) | micro (микро) | $10^{-6}$ |
| m (м) | milli (мили) | $10^{-3}$ |
| k (к) | kilo (кило) | $10^{3}$ |
| M (М) | mega (Мега) | $10^{6}$ |
| G (Г) | giga (Гига) | $10^{9}$ |

## Обозначения

| | |
|---|---|
| % | Процент |
| + | Положительный или Плюс |
| – | Отрицательный или Минус |
| / | На единицу, в единицу |
| ° | Градус |
| Ω | Ом |

## A

| | |
|---|---|
| A | A – Ампер (единица силы тока) |
| A/D | Аналого-цифровой |
| AC | Переменный ток |
| ADC | Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) – электронное устройство, обычно выполненное в виде интегральной микросхемы, которое преобразует аналоговое напряжение в цифровой код |
| ADE | Среда разработки приложений (Среда проектирования), например, LabVIEW, LabWindows/CI, Visual Basic, Visual C, Visual C++ |

| | |
|---|---|
| AI | Аналоговый ввод |
| AI CONV CLK | Сигнал преобразования |
| AI HOLD COMPLETE | Тактовый сигнал опроса |
| AI PAUSE TRIG | Сигнал разрешения аналогового ввода |
| AI SAMP CLK | Сигнал начала опроса |
| AIGND | Сигнал заземления аналогового ввода |
| AISENSE | Аналоговый вход считываемого сигнала (обратной связи) |

## B

| | |
|---|---|
| bandwidth | Полоса частот сигнала или диапазон частот, которые воспринимаются измерительным устройством |
| bipolar | Биполярный диапазон напряжений – диапазон, который включает в себя как положительные, так и отрицательные напряжения (например, от -5 до +5 В) |
| breakdown voltage | Напряжение пробоя – достаточно высокое напряжение, чтобы вызвать пробой оптической развязки, полупроводников или диэлектрических материалов. См. также working voltage. |
| bus | Шина – группа проводников, соединяющих отдельные схемы в компьютере. Как правило, шина имеет расширение для подключения устройств ввода/вывода или других устройств. |
| bus master | Съемное устройство или контроллер, обладающий способностью считывать и записывать в устройства, подключенные к шине компьютера |

## C

| | |
|---|---|
| C | Градус Цельсия |
| CalDAC | Цифроаналоговый преобразователь калибровки |
| CH | Канал - контакт или вывод, на который подается или с которого снимается аналоговый или цифровой сигнал. Источники аналоговых сигналов бывают несимметричные (Single-ended) и дифференциальные (Differential). Для цифровых сигналов каналы обычно объединяются в порты, включающие от 4 до 8 цифровых каналов. |
| channel clock | Импульсы, управляющие временным интервалом между выборками каналов в пределах интервала опроса. В устройствах с синхронизированной (одновременной) выборкой и хранением нет таких импульсов. |

| | |
|---|---|
| channel rate | Частота канала – величина, обратная межканальной задержке |
| CMR | Ослабление синфазного сигнала |
| CMRR | Коэффициент ослабления синфазного сигнала – показывает степень подавления синфазного сигнала операционного усилителя, обычно измеряется в децибелах (дБ) |
| common-mode signal | Синфазный сигнал - напряжение на входах инструментального усилителя относительно заземления |
| counter/timer | Счетчик-таймер – схема, подсчитывающая внешние импульсы или синхроимпульсы (импульсы синхронизации) |
| CTR | Счетчик |

## D

| | |
|---|---|
| D/A | Цифроаналоговый |
| DAC | Цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) – электронное устройство, как правило, выполненное в виде интегральной микросхемы, которое преобразует цифровой код в соответствующее аналоговое напряжение или ток |
| DAQ | Сбор данных<br>(1) Измерение электрических сигналов с датчиков, измерительных преобразователей, пробников или зажимов, и ввод результатов измерений в компьютер с целью обработки.<br>(2) Измерение однородных электрических сигналов с помощью встраиваемых в компьютер плат АЦП и/или плат цифрового ввода-вывода и, возможно, генерация управляющих сигналов с помощью плат ЦАП и/или цифрового ввода-вывода, находящихся внутри того же компьютера |
| DAQ Assistant | Утилита конфигураций, используемая для определения и конфигурирования сбора данных |
| DAQ-STC | Чип контроллера синхронизации системы сбора данных |
| dB | Децибел (дБ) – логарифмическая единица измерения отношения. 1 дБ = 20 lg V1/V2, где V1 и V2 – напряжения, выраженные в вольтах (В) |
| DC | Постоянный ток |
| DGND | Цепь заземления цифровых сигналов |
| DIFF | Дифференциальный режим |
| differential input | Дифференциальный вход – аналоговый вход, который состоит из двух контактов, изолированных от цепи заземления |

компьютера, измеряется разность потенциалов на контактах

DIO — Цифровой ввод-вывод

dithering — Добавление Гауссова шума к аналоговому входному сигналу

DMA — Прямой доступ к памяти – метод, при использовании которого данные могут передаваться между памятью компьютера и другим устройством по шине, пока процессор занят чем-то еще. DMA – самый быстрый способ передачи данных из/в память компьютера

DNL — Дифференциальная нелинейность – измеренное в единицах младшего разряда (LSB) предельное отклонение размаха кода от идеального значения 1 LSB

driver — Драйвер - программное обеспечение для управления отдельным устройством, например, DAQ-устройством

## E

EEPROM — Перепрограммируемое постоянное запоминающее устройство с электрическим стиранием (ЭСППЗУ) – ПЗУ, которое можно стирать электрическим сигналом и перезаписывать

EMC — Электромагнитная совместимость (ЭМС)

EMI — Электромагнитные помехи (ЭМП) - нежелательное электромагнитное излучение устройства, которое может накладывать помехи на сигналы или коммуникационное оборудование

ESD — Электростатический разряд

## F

FIFO — Буферная память типа «очередь» – данные, сохраненные первыми, первыми отправляются адресату

floating signal sources — Источники с сигналами напряжения, которые не связаны с абсолютной опорной точкой или заземлением. Также известны как источники сигналов без общей (опорной) точки. Среди распространенных подобных источников батарейки, трансформаторы или термопары

ft — фут

## G

g — граммы

gain — Коэффициент усиления – число раз, в которое увеличивается входной сигнал, иногда выражается в децибелах (дБ)

| | |
|---|---|
| gain accuracy | Погрешность коэффициента усиления – отклонение коэффициента усиления усилителя от идеального значения |
| grounded measurement system | См. referenced single-ended configuration |

## H

| | |
|---|---|
| h | Час |
| Hz | Герц (Гц) – количество опросов при считывании или обновлений при записи |

## I

| | |
|---|---|
| I/O | Ввод-вывод – передача данных из компьютера и в компьютер через каналы связи, интерфейсные устройства, интерфейсы сбора данных и управления |
| in. | Дюйм (дюймы) |
| INL | Интегральная нелинейность— измеренное в единицах младшего разряда (LSB) предельное отклонение от идеальной аналого-цифровой или цифро-аналоговой передаточной характеристики схемы аналогового ввода-вывода |
| input bias current | Входной ток смещения – входной ток, протекающий через входные цепи усилителя |
| input impedance | Входной импеданс – сопротивление и емкость между входными контактами электрической схемы |
| input offset current | Разность входных токов смещения двух входов инструментального усилителя |
| instrumentation amplifier | Инструментальный усилитель - схема, выходное напряжение которой относительно земли пропорционально разности напряжений на двух входах с большим импедансом |
| interchannel delay | Межканальная задержка – интервал времени между дискретизацией последовательно опрашиваемых каналов. Она должна быть достаточно малой, чтобы опрос всех каналов из списка происходил в течение интервала сканирования. Чем больше межканальная задержка, тем больше остается времени на установление инструментального усилителя до опроса следующего канала. Межканальная задержка регулируется сигналом AI CONV CLK |

## K

| | |
|---|---|
| kilo | Кило – стандартная метрическая приставка, обозначающая |

| | |
|---|---|
| | 1000 или $10^3$, используемая с такими единицами измерения, как Вольты, Герцы и метры |
| kS | 1000 отсчетов |

## L

| | |
|---|---|
| LabVIEW | Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench - среда разработки приложений, основанная на языке программирования G и широко используемая для тестирования и измерений |
| LED | Светодиод – полупроводниковый источник света. |
| linearity | Линейность – соответствие поведения устройства уравнению $R = KS$, где $R$ = ответ, $S$ = стимул, $K$ = константа |
| LSB | Младший значащий бит |

## M

| | |
|---|---|
| MAX | Measurement & Automation Explorer— программное обеспечение NI для настройки устройств и каналов |
| maximum working voltage | Максимальное рабочее напряжение – максимальное напряжение относительно земли, которое может быть приложено к входному контакту при нормальной эксплуатации, как правило, намного ниже напряжения пробоя для обеспечения безопасности. Включает как напряжение сигнала, так и синфазное напряжение |
| MITE | Специализированная интегральная схема, разработанная — National Instruments для сопряжения с шиной PCI. MITE поддерживает высокоскоростную передачу данных по шине PCI без участия ЦП |
| MSB | Старший значащий бит |
| mux | Мультиплексор – коммутирующее устройство с несколькими входами, которые последовательно подключаются к его выходу, как правило, с высокой скоростью, чтобы измерить несколько сигналов с помощью одного АЦП |
| MXI | Multisystem eXtension Interface – многосистемный интерфейс расширения |

## N

| | |
|---|---|
| NI | National Instruments |

| | |
|---|---|
| NI-DAQ | Набор программных драйверов, необходимый для работы NI DAQ-устройств |
| NI-DAQmx | Последняя версия драйвера NI-DAQ с новыми виртуальными приборами (VI), функциями и инструментами разработки для управления измерительными устройствами |
| noise | Помеха (шум) – нежелательный (вредный) электрический сигнал. К внешним источникам помех относятся линии электропередач переменного тока, электродвигатели, генераторы, трансформаторы, люминесцентные светильники, паяльники, сварочные аппараты, ЭЛТ мониторы, компьютеры, электромагнитные бури, сварочные установки, радиопередатчики. Собственные шумы в устройстве порождаются его компонентами: полупроводниковыми приборами, резисторами и конденсаторами. Шумы и помехи искажают сигналы при передаче или приеме |
| normal mode voltage | Напряжение, появляющееся при взаимном влиянии двух проводников в цепи |
| NRSE | Non-Referenced Single-Ended mode - конфигурация, при которой все измерения выполняются относительно общей опорной точки измерительной системы, но напряжение в этой точке может отличаться от заземления измерительной системы |

## O

| | |
|---|---|
| OUT | Выходной контакт – выходной контакт счетчика, на который выводятся различные импульсные TTL-сигналы |

## P

| | |
|---|---|
| PCI | Peripheral Component Interconnect - шина для подключения периферийных устройств к процессору. |
| PFI | Вход с программируемым функциональным назначением |
| PGA | Усилитель с программируемым коэффициентом усиления |
| port | (1) Подключение для связи с компьютером или удаленным контроллером<br>(2) Цифровой порт, который состоит из 4-х или 8-ми цифровых линий ввода и/или вывода |
| ppm | 1 ppm (parts per million) – миллионная доля (0.0001%) |
| PXI | Расширение шины PCI для измерительной техники – открытый интерфейс на основе спецификации CompactPCI, дополненный специфическими функциями для задач измерений |

| | |
|---|---|
| PXI trigger bus | Шина запуска PXI - шина синхронизации, непосредственно соединяющая устройства PXI DAQ посредством разъемов, встроенных в объединительную панель шасси PXI, для точной синхронизации выполняемых действий. Эта шина – функциональный эквивалент шины RTSI для устройств PCI DAQ |

## R

| | |
|---|---|
| referenced single-ended configuration | RSE - конфигурация, при которой все измерения выполняются относительно общей опорной точки измерительной системы или заземления; также известна как grounded measurement system – заземленная измерительная система |
| relative accuracy | Относительная погрешность - измеренная в единицах младшего разряда (LSB) погрешность АЦП. Она включает все погрешности нелинейности и квантования, но не включает аддитивные и мультипликативные погрешности АЦП |
| resolution | Разрешение – наименьшее приращение сигнала, которое может быть обнаружено измерительной системой. Разрешение может быть выражено в битах, в долях или в процентах от всей шкалы. Например, система имеет 16-битное разрешение, что эквивалентно разрешению 1 к 65536 или 0.0015% от всей шкалы |
| rise time | Время нарастания – интервал времени между 10 and 90% значениями переходной характеристики системы |
| rms | Среднеквадратическое (действующее) напряжение – квадратный корень из среднего квадрата мгновенных значений амплитуд сигнала |
| RSE | См. Referenced Single-Ended Configuration |
| RTSI bus | Шинный интерфейс RTSI – шина синхронизации National Instruments, которая объединяет DAQ-устройства и осуществляет точную синхронизацию выполняемых действий |

## S

| | |
|---|---|
| s | Секунды (с) |
| S | Отсчеты |
| S/s | Количество отсчетов в секунду ($с^{-1}$) – выражает частоту дискретизации аналогового сигнала DAQ-устройством |
| sample counter | Счетчик отсчетов, подсчитывающий количество тактовых импульсов канала, другими словами, количество полученных отсчетов. В устройствах с СВХ этот счетчик подсчитывает |

| | |
|---|---|
| | количество циклов опроса |
| scan | Скан (опрос) – один или более отсчетов аналоговых или цифровых сигналов. Обычно количество отсчетов в скане равно количеству каналов в группе каналов ввода. Например, один импульс опроса (Scan clock) инициирует один цикл сканирования, в котором собирается по одному новому отсчету с каждого канала группы |
| scan clock | Импульсы, определяющие временные интервалы между сканами |
| scan interval | Интервал опроса (сканирования) – задает, насколько часто инициализируется опрос; управляется тактовым сигналом аналогового ввода (AI SAMP CLK) |
| scan rate | Частота опроса (сканирования)– величина, обратная интервалу сканирования |
| self-calibrating | Самокалибровка – свойство устройства сбора данных с чрезвычайно стабильным встроенным источником образцовой величины и способностью калибровать свои аналого-цифровые и цифро-аналоговые схемы без необходимости настройки пользователем вручную |
| setting time | Время установления – интервал времени, который требуется для достижения напряжения установившегося значения с заданной точностью |
| signal conditioning | Преобразование сигналов, которое осуществляется перед преобразованием их в цифровую форму |
| software trigger | Программный запуск – программируемое событие, запускающее другое событие, например, сбор данных |
| SS/H | Синхронная выборка и хранение, СВХ |
| STC | Контроллер системной синхронизации |

## T

| | |
|---|---|
| THD | Суммарное гармоническое искажение – коэффициент отношения среднеквадратического значения искажений гармонического сигнала к полному среднеквадратическому значению сигнала (в децибелах или процентах). |
| TRIG | Сигнал запуска |
| trigger | Запуск - любое событие, вызывающее или запускающее сбор данных |
| TTL | Транзисторно-транзисторная логика (ТТЛ) —цифровая схема, состоящая из биполярных транзисторов, соединенных определенным образом |

## V

| | |
|---|---|
| V | Вольт (В) |
| $V_{CC}$ | Положительное напряжение питания |
| VDC | Напряжение постоянного тока |
| VI | Виртуальный прибор (ВП) – (1) совокупность аппаратных и/или программных средств, используемых, как правило, совместно с персональным компьютером, которая по своим функциональным возможностям заменяет традиционный автономный измерительный прибор; (2) Программный модуль в среде программирования LabVIEW, который состоит из пользовательского интерфейса в виде лицевой панели и программы в виде блок-диаграммы |
| $V_{in}$ | Входное напряжение |
| $V_m$ | Измеренное напряжение |
| $V_{rms}$ | Среднеквадратическое (действующее) значение напряжения |

## W

| | |
|---|---|
| waveform | Результаты многократных измерений напряжения, полученные с определенной частотой дискретизации |
| WFTRIG | Импульс запуска генерации отсчетов сигнала с определенной частотой дискретизации |