NI SC Express

PXIe-4330/4331
Руководство пользователя

Апрель 2010
373029A-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 приложению *Техническая поддержка и помощь специалиста*. Чтобы оставить свои комментарии о документации National Instruments, зайдите на сайт ni.com/info и введите код обратной связи feedback.

© 2010 National Instruments. All rights reserved.

Важная информация

Гарантийные обязательства

На модуль PXIe-4330/4331 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.

National Instruments относится с уважением к интеллектуальной собственности и призывает своих клиентов к такому же отношению. Программное обеспечение NI защищено законами об охране авторских и смежных прав. Вы имеете право передавать программное обеспечение и прочие материалы, разработанные с помощью программного обеспечения National Instruments, третьим лицам в соответствии с условиями приобретенной Вами лицензии и другими законодательными ограничениями.

Торговые марки

National Instruments, NI. ni.com, LabVIEW являются торговыми марками корпорации National Instruments. За более подробной информацией обратитесь к разделу *Trademark Information* на сайте `ni.com/trademarks`.

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

Участники программы партнерства National Instruments Alliance Partner Program ведут свой бизнес независимо от National Instruments, причем они не являются посредниками, партнерами или подразделением совместного с National Instruments предприятия.

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 Instrumants

(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 АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, НЕИСПРАВНОСТЕЙ И СБОЕВ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ МОНИТОРИНГА ИЛИ УПРАВЛЕНИЯ, САМОУСТРАНЯЮЩИХСЯ ОТКАЗОВ АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ 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

Содержание

1. Начало работы 1
Установка 1
Характеристики модуля 1
Кабели и дополнительные компоненты 1
2. Руководство по применению 2
Подключение сигналов с мостового датчика 2
Мосты Уитстона 2
Схемные решения для коррекции погрешностей из-за сопротивлений внешних соединительных линий 3
Цепь удаленной обратной связи 3
Калибровка с помощью шунта 4
Тензометрические схемы 5
Quarter-Bridge Type I (1/4 моста — тип I) 5
Quarter-Bridge Type II (1/4 моста — тип II) 7
Half-Bridge Type I (1/2 моста— тип I) 9
Half-Bridge Type II (1/2 моста — тип II) 11
Full-Bridge Type I (Полный мост — тип I) 13
Full-Bridge Type II (Полный мост — тип II) 15
Full-Bridge Type III (Полный мост — тип III) 17
Конфигурации датчиков силы, давления и момента 19
Синфазное напряжение 22
Экранирование и заземление 23
Назначение контактов 23
Описание сигналов на разъеме ввода-вывода 24
Блок-схема модуля PXIe-4330/4331 25
Основные понятия в области измерений сигналов 28
Программное масштабирование и уравнения преобразования 28
Частота и полоса частот Найквиста 28
АЦП 29
Входные аналоговые фильтры 29
Антиалиазинговые фильтры 30
Полоса пропускания 30
Полоса заграждения 31
Полоса, в которой отсутствует эффект наложения спектра 31
Групповая задержка фильтра 31
Поддерживаемые частоты дискретизации 32
Тактирование и запуск 32
Базовый тактовый генератор 32
Внешний генератор 32
Цифровой запуск 33
Аналоговый запуск 33
Аналоговый запуск по фронту 33
Аналоговый запуск по фронту с гистерезисом 34
Запуск относительно окна 35
Запуск и задержка фильтра 35
Синхронизация нескольких модулей 36
Синхронизация с помощью опорного генератора 36
TEDS-датчики 38
Программное конфигурирование TEDS-датчиков и работа с ними 38

Автоматическое обнаружение дополнительных компонентов....38
3. Особенности модулей NI SC Express....40
Сигналы синхронизации и запуска NI SC Express....40
PXIe_CLK100....40
PXIe_SYNC100....40
PXI_CLK10....40
PXI Triggers....40
PXI_STAR Trigger....41
PXIe_DSTAR<A..C>....41
Trigger Filters....42
A. Компесация смещения (Балансировка моста)....44
B. Техническая поддержка и помощь специалиста....45

1. Начало работы

Модуль типа PXIe-4330/4331 имеет восемь каналов, работающих в режиме параллельного сбора данных, предназначенных для подключения тензометрических мостов, а также других датчиков на основе моста Уитстона. Эти модули обладают разрешением 24 бита и поддерживают следующие частоты дискретизации:

PXIe-4330 — до 25.6 кГц

PXIe-4331 — до 102.4 кГц

Все настройки любого канала можно сконфигурировать программным путем. Эти каналы предоставляют следующие возможности:

Включать датчики в любую из конфигураций моста: четверть моста (1/4 моста — 1 чувствительный элемент), полумост (1/2 моста — 2 чувствительных элемента), полный мост (4 чувствительных элемента).

Задавать постоянное напряжение питания от 0.625 до 10 В.

Выбирать резисторы сопротивлением 120 Ом, 350 Ом, 1 кОм, дополняющие датчик типа «1/4 моста».

Выполнять программную коррекцию смещения нуля мостовых схем и их калибровку с помощью шунта.

Подавлять внеполосные сигналы с использованием аналоговой и цифровой фильтрации.

Запитывать удаленный мост, используя цепь удаленной обратной связи.

Установка

Пошаговые инструкции по установке модуля PXIe-4330/4331 и инсталляции программного обеспечения приведены в документах *NI SC Express 4330/4331 Installation Guide and Terminal Block Specifications (Руководство по* установке *модуля типа SC Express 4330/4331 и [арактеристики коннекторного блока).*

Характеристики модуля

Спецификации на модуль PXIe-4330/4331 приведены в документе *NI PXIe-4330/4331 Specifications (Характеристики модуzи NI PXIe-4330/4331).*

Кабели и дополнительные компоненты

За информацией о поддерживаемых дополнительных компонентах (аксессуарах) и кабелях обратитесь к документу *NI SC Express 4330/4331 Installation Guide and Terminal Block Specifications.*

2. Руководство по применению

В настоящем главе описывается, как подключаются датчики моста Уитстона к модулю PXIe-4330/4331 в конфигурациях: 1/4 моста (четвертьмостовая схема), 1/2 моста (полумостовая схема), полный мост (полномостовая схема), схема с удаленной обратной связью. Также рассматривается назначение контактов разъема модуля.

Подключение сигналов с мостового датчика

В этом разделе дается краткое описание обобщенного моста Уитстона и обсуждается, каким образом подаются сигналы с тензометрических схем, типы которых поддерживаются модулем PXIe-4330/4331. Кроме того, рассматриваются способы подключения удаленных датчиков и калибровочных шунтов. За подробной информацией о подключении сигналов обратитесь к руководству *NI SC Express 4330/4331 Installation Guide and Terminal Block Specifications*.

Мосты Уитстона

Основой многих датчиков, в том числе тензодатчиков, а также датчиков нагрузки, давления и момента является мост Уитстона, который состоит из четырех элементов или плеч. В общем случае эти плечи могут быть резистивными или реактивными, однако большинство мостовых датчиков состоит только из резистивных плеч. У большей части датчиков на основе моста Уитстона все четыре плеча являются активными чувствительными элементами. Однако распространены и конфигурации тензомостов, состоящие из одного, двух или четырех активных чувствительных элементов. Принципиальная схема резистивного моста Уитстона приведена на рисунке 2–1.

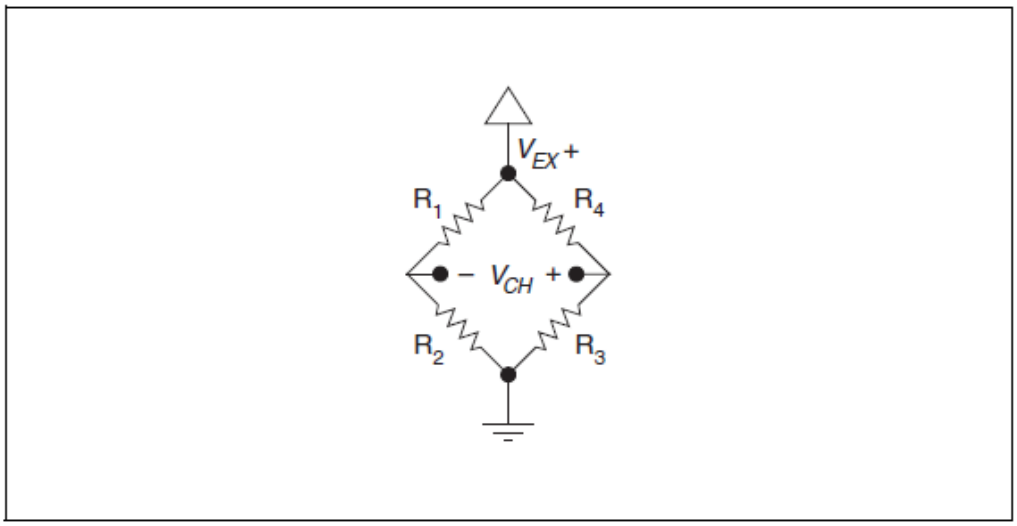

Рисунок 2-1. Принципиальная схема моста Уитстона.

Мост Уитстона электрически эквивалентен двум параллельно включенным делителям 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, что, в свою очередь, приводит к появлению на выходе моста напряжения, пропорционального изменению соответствующей физической величины. Напряжение на выходе зависит от напряжения питания моста. Однако отношение выходного напряжения моста (V_{CH}) к напряжению питания (V_{EX}) при изменениях напряжения питания остается постоянным, и эта, не имеющая размерности величина, представляет интерес. Чтобы точно измерить такое отношение напряжений для мостового датчика, необходимо знать и напряжение на выходе моста, и напряжение питания. Напряжение питания можно узнать путем измерений или оно известно в случае использования источника образцового напряжения (ИОН). В модуле PXIe-4330/4331 с помощью специальной схемы непрерывно измеряется напряжение питания, которое подается в качестве опорного на внутренний аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Таким образом, колебания питающего напряжения компенсируются, и модуль выдает данные измерений в виде отношения выходного напряжения моста к напряжению питания.

Схемные решения для коррекции погрешностей из-за сопротивлений внешних соединительных линий

На рисунке 2-1 напряжение питания приложено непосредственно к простому мосту Уитстона. Однако, соединительные линии для подключения датчиков к измерительным устройствам имеют ненулевое сопротивление, которое может оказаться причиной погрешностей измерений с помощью мостовых схем. В модуле PXIe-4330/4331 есть два механизма коррекции этих погрешностей: использование цепи удаленной обратной связи и калибровка с помощью шунта.

Цепь удаленной обратной связи

Использование цепи удаленной обратной связи позволяет непрерывно и автоматически корректировать погрешности из-за ненулевого сопротивления питающих линий, что в общем случае больше всего подходит для полумостовых и полномостовых датчиков. Более того, схему с удаленной обратной связью необходимо применять в приложениях, где используются длинные питающие линии и/или короткие сигнальные линии, обладающие большим сопротивлением. Из-за ненулевого сопротивления линий, питающих мост, на них возникает падение напряжения, которое является источником мультипликативной погрешности. Компенсация этой погрешности в модуле PXIe-4330/4331 осуществляется с помощью цепи удаленной обратной связи. Входы цепи удаленной обратной связи, следует соединять с проводниками питания моста как можно ближе к местоположению мостовой схемы. На рисунке 2-2 проиллюстрировано, как соединять линии удаленной обратной связи PXIe-4330/4331 и полномостовой схемой.

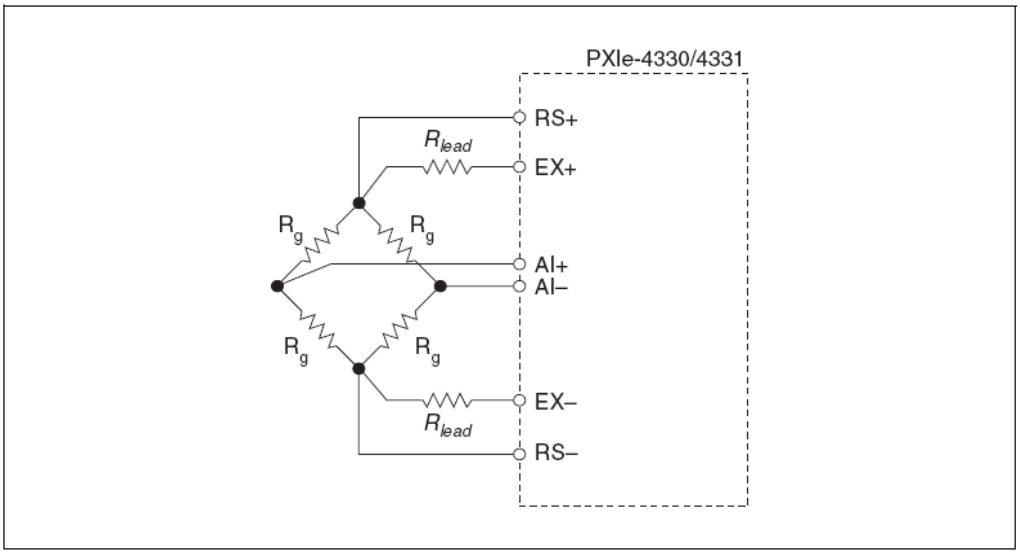

Рисунок 2-2. Использование удаленной обратной связи в модуле PXIe-4330/4331

Действительное значение напряжения питания, измеренного на диагонали моста, меньше напряжения между контактами EX+ и EX– на разъеме модуля, что обусловлено падением напряжения на сопротивлении каждой из соединительных линий (R_{lead}). Если измерять напряжение на выходе моста, не используя удаленную обратную связь, коэффициент преобразования моста уменьшится на величину, которая определяется следующими выражениями:

$\frac{R_{lead}}{R_g}$ — для полумостовых датчиков

$\frac{2 \cdot R_{lead}}{R_g}$ — для полномостовых датчиков

Если контакты для подключения удаленной обратной связи RS+ и RS– соединить с помощью высокоимпедансных линий непосредственно с вершинами моста, то модуль PXIe-4330/4331 будет измерять действительное напряжение на диагонали моста. В этом случае устраняются мультипликативные погрешности, обусловленные ненулевым сопротивлением проводников, присоединенных к контактам питания EX+ и EX–.

Калибровка с помощью шунта

Калибровка с помощью шунта позволяет корректировать погрешности из-за ненулевого сопротивления как проводников питания, так и проводников подключения отдельных резисторов мост. Погрешности из-за ненулевого сопротивления проводников между датчиком и контактами EX+ и EX– компенсируются с помощью цепи удаленной обратной связи, а калибровка с помощью шунта обеспечивает коррекцию этих же погрешностей и погрешностей, обусловленных ненулевым сопротивлением проводников в каком-либо плече моста. Такая калибровка особенно полезна при

трехпроводном подключении датчиков в четвертьмостовую схему, поскольку проводники внутри мостовой схемы могут иметь значительное сопротивление, влияние которых не компенсируется удаленной обратной связью. Схема моста с калибровочным шунтом приведена на рисунке 2-4. Калибровочная схема модуля PXIe-4330/4331 состоит из прецизионных резистивных шунтов, соединяемых с контактом EX– с помощью программно-управляемых ключей. Чтобы узнать, как включать в схему калибровочные шунты, обратитесь к справке на программное обеспечение. Суть калибровки заключается в имитации измеряемой деформации путем изменения сопротивления плеча моста на некоторую известную величину. Это осуществляется путем шунтирования одного из плеч моста или, другими словами, включения параллельно нему резистора с большим известным сопротивлением, что порождает известное изменение напряжения на выходе моста. Затем Вы можете измерить напряжение на выходе моста и сравнить его с ожидаемым значением, что позволит скорректировать мультипликативные погрешности всего измерительного тракта, или, проще говоря, обеспечить достоверность коэффициента преобразования в обычном режиме работы модуля.

Тензометрические схемы

В настоящем параграфе рассматриваются различные тензометрические схемы, которые поддерживаются модулем PXIe-4330/4331.

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

Конфигурация тензомоста «1/4 моста — тип I» предназначена для измерения либо продольной деформации, либо деформации изгиба. На рисунке 2-3 показано, как располагать тензорезистор при измерении продольной деформации и деформации изгиба, а на рисунке 2-4 приведена принципиальная схема данной конфигурации.

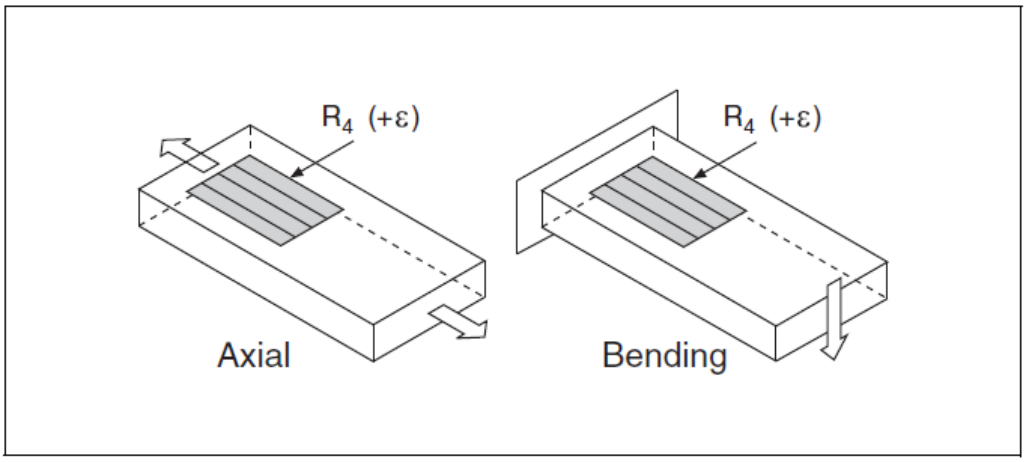

Рисунок 2-3. В 1/4–мостовой схеме, тип конфигурации I, измеряется продольная деформация (Axial) и деформация изгиба (Bending)

Тензомост «1/4 моста — тип I» обладает следующими характеристиками:

Единственный активный тензочувствительный элемент монтируется вдоль главного направления продольной деформации или деформации изгиба.

Кроме дополняющего полумоста (R_1 и R_2) требуется пассивный дополняющий резистор (R_3), который не подвергается деформации. Все эти резисторы находятся внутри модуля PXIe-4330/4331.

Чувствительность при относительной деформации 1000 με примерно равна *0.5 мкВ/В* для коэффициента тензочувствительности, равного 2.0.

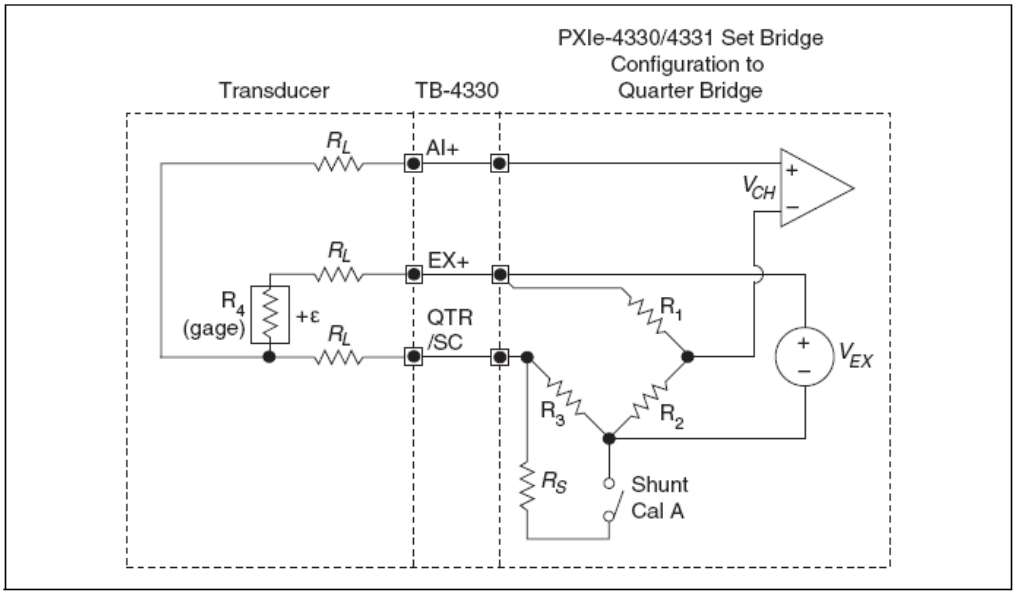

Рисунок 2-4. Принципиальная схема конфигурации «1/4 моста — тип I»

На принципиальной схеме и в последующих уравнениях применяются следующие обозначения:

R_1 и R_2 — резисторы дополнения полумостовой схемы (находятся внутри модуля PXIe-4330/4331).

R_3 — резистор дополнения четвертьмостовой схемы (находится внутри модуля PXIe-4330/4331).

- сопротивление резистора R_3 должен быть равно номинальному сопротивлению активного тензочувствительного элемента (R_4).

R_S — калибровочный шунт (находится внутри модуля PXIe-4330/4331).

R_4 — активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию растяжения ($+\varepsilon$) (устанавливается пользователем).

R_L — сопротивление соединительной линии (сопротивления внешних линий, идущих к к контактам EX+ и QTR/SC должны совпадать).

GF — коэффициент тензочувствительности (указывается изготовителем тензочувствительного элемента).

V_{CH} — измеряемое значение выходного напряжения моста.

V_{EX} — напряжение питания (генерируется модулем PXIe-4330/4331).

V_r — отношение, используемое в уравнениях преобразования деформации в напряжение, для моста с компенсацией смещения:

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

$V_{CH} \quad \varepsilon \neq 0$ — выходное напряжение при наличии деформации,

$V_{CH} \quad \varepsilon = 0$ — выходное напряжение при отсутствии деформации

Примечание: Отношение выходного напряжения к напряжению питания моста вычисляется внутри модуля PXIe-4330/4331.

Уравнение преобразования отношения напряжений в единицы деформации имеет вид:

$$\varepsilon = \frac{-4V_r}{GF(1+2V_r)}$$

Чтобы скомпенсировать погрешности из-за ненулевого сопротивления соединительных линий, необходимо выполнить калибровку с помощью шунта.

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

Конфигурация тензомоста «1/4 моста — тип II» предназначена для измерения либо продольной деформации, либо деформации изгиба. На рисунке 2-5 показано, как располагать тензорезистор при измерении продольной деформации и деформации изгиба, а на рисунке 2-6 приведена принципиальная схема данной конфигурации.

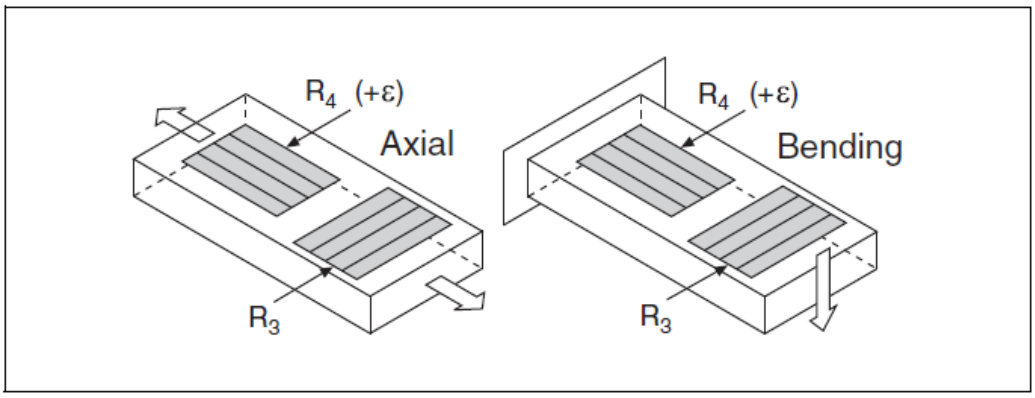

Рисунок 2-5. В 1/4–мостовой схеме, тип конфигурации II, измеряется продольная деформация (Axial) и деформация изгиба (Bending)

Тензомост «1/4 моста — тип II» обладает следующими характеристиками:

В одно плечо включается активный тензочувствительный элемент, а в соседнее плечо — термочувствительный элемент (пассивный датчик).

Тензочувствительный элемент (R_4) устанавливается вдоль главного направления продольной деформации или деформации изгиба. В свою очередь, пассивный датчик (R_3) обычно монтируется перпендикулярно главной оси деформации, причем он находится в плотном тепловом контакте с деформируемым образцом, но не прикреплен к нему.

Дополняющие резисторы (R_1 и R_2) образуют дополняющий полумост (находятся внутри модуля PXIe-4330/4331).

Чувствительность при относительной деформации 1000 με примерно равна 0.5 мкВ/В для коэффициента тензочувствительности, равного 2.0.

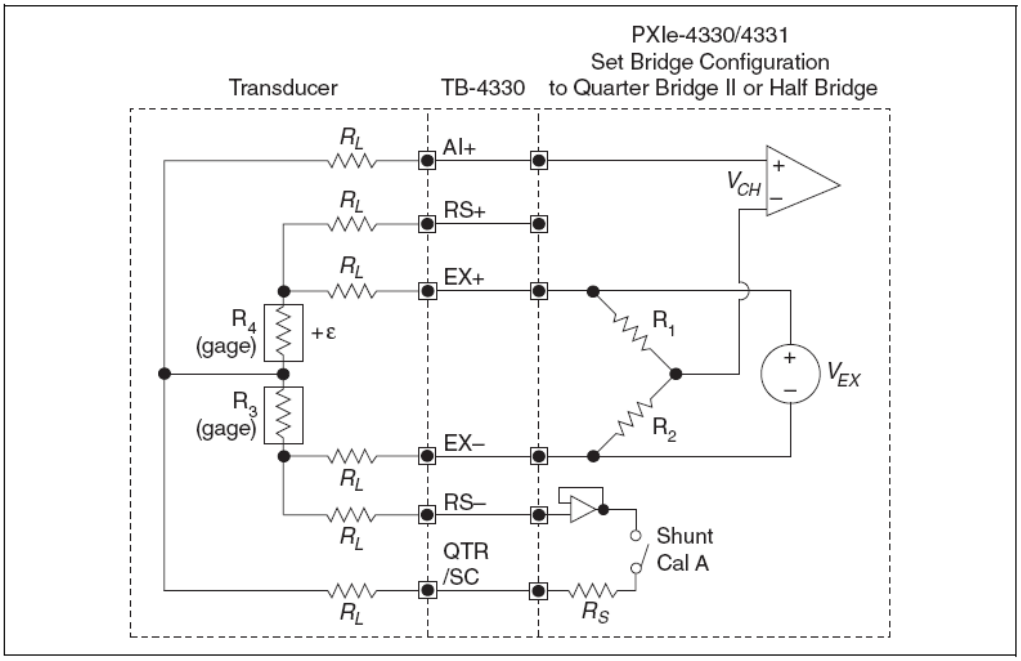

Рисунок 2-6. Принципиальная схема конфигурации «1/4 моста — тип II»

На принципиальной схеме и в последующих уравнениях применяются следующие обозначения:

R_1 и R_2 — резисторы дополнения полумостовую схемы (находятся внутри модуля PXIe-4330/4331).

R_3 — резистор дополнения четвертьмостовой схемы (находится в непосредственной близости от активного тензочувствительного элемента).

- сопротивление резистора R_3 должен быть равно номинальному сопротивлению активного тензочувствительного элемента (R_4).

R_S — калибровочный шунт (находится внутри модуля PXIe-4330/4331).

R_4 — активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию растяжения ($+\varepsilon$).

R_L — сопротивление соединительной линии.

GF — коэффициент тензочувствительности (указывается производителем тензочувствительного элемента).

V_{CH} — измеряемое выходное напряжение моста.

V_{EX} — напряжение питания (генерируется модулем PXIe-4330/4331).

V_r — отношение, используемое в уравнениях преобразования деформации в напряжение, для моста с компенсацией смещения:

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

$V_{CH} \quad \varepsilon \neq 0$ — выходное напряжение при наличии деформации,

$V_{CH} \quad \varepsilon = 0$ — выходное напряжение при отсутствии деформации

Примечание: Отношение выходного напряжения к напряжению питания моста вычисляется внутри модуля PXIe-4330/4331.

Уравнение преобразования отношения напряжений в единицы деформации имеет вид:

$$\varepsilon = \frac{-4V_r}{GF(1+2V_r)}$$

Half-Bridge Type I (1/2 моста— тип I)

Конфигурация тензомоста «1/2 моста — тип I» предназначена для измерения либо продольной деформации, либо деформации изгиба. На рисунке 2-7 показано, как располагать тензорезисторы при измерении продольной деформации и деформации изгиба, а на рисунке 2-8 приведена принципиальная схема данной конфигурации.

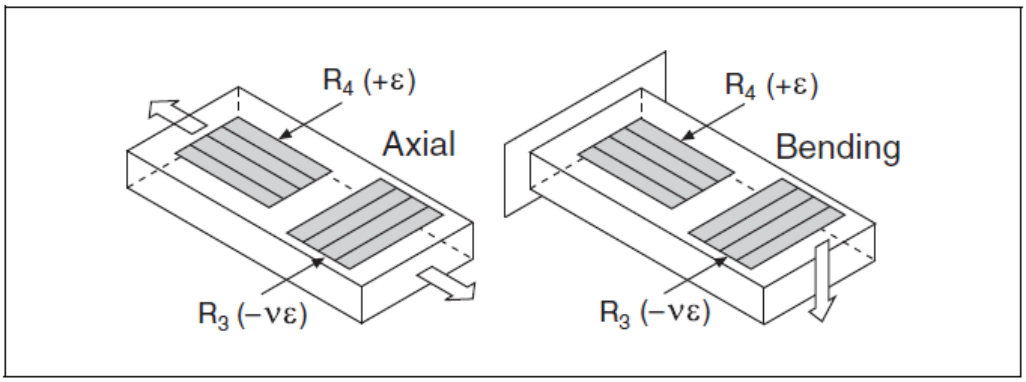

Рисунок 2-7. 1/2–мостовая тензометрическая схема, тип конфигурации I, измеряет продольную деформацию (Axial) и деформацию изгиба (Bending)

Тензомост «1/2 моста — тип 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 (R_1 и R_2) образуют дополняющий полумост (находятся внутри модуля PXIe-4330/4331).

Обладает чувствительностью и к продольной деформации, и к деформации изгиба.

Чувствительность при относительной деформации 1000 με примерно равна 0.65 мкВ/В для коэффициента тензочувствительности, равного 2.0

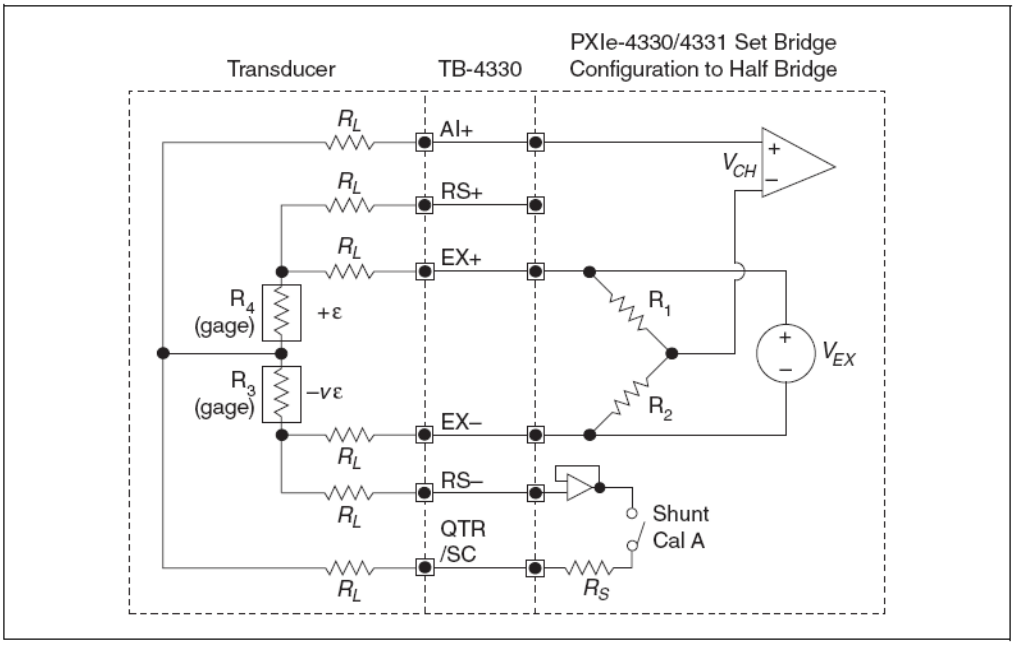

Рисунок 2-8. Принципиальная схема конфигурации «1/2 моста — тип I»

На принципиальной схеме и в последующих уравнениях применяются следующие обозначения:

R_1 и R_2 — резисторы дополнения полумостовой схемы (находятся внутри модуля PXIe-4330/4331).

R_3 — активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию сжатия с учетом коэффициента Пуассона (-νε).

R_S — калибровочный шунт (находится внутри модуля PXIe-4330/4331).

R_4 — активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию растяжения (+ε).

R_L — сопротивление соединительной линии.

GF — коэффициент тензочувствительности (указывается изготовителем тензочувствительного элемента).

ν — коэффициент Пуассона (коэффициент поперечной деформации)— отношение поперечной деформации к продольной деформации, взятое со знаком «минус» (свойство материала, из которого изготовлен исследуемый образец).

V_{CH} — измеряемое выходное напряжение моста.

V_{EX} — напряжение питания (генерируется модулем PXIe-4330/4331).

V_r — отношение, используемое в уравнениях преобразования деформации в напряжение, для моста с компенсацией смещения:

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

$V_{CH} \ \ \varepsilon \neq 0$ — выходное напряжение при наличии деформации,

$V_{CH} \ \ \varepsilon = 0$ — выходное напряжение при отсутствии деформации

Примечание: Отношение выходного напряжения к напряжению питания моста вычисляется внутри модуля PXIe-4330/4331.

Уравнение преобразования отношения напряжений в единицы деформации имеет вид:

$$\varepsilon = \frac{-4V_r}{GF \ \ (1+\nu) - 2V_r(\nu - 1)}$$

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

Конфигурация тензомоста «1/2 моста — тип II» предназначена для измерения только деформации изгиба. На рисунке 2-9 показано, как располагать тензорезисторы при измерении деформации изгиба, а на рисунке 2-10 приведена принципиальная схема данной конфигурации.

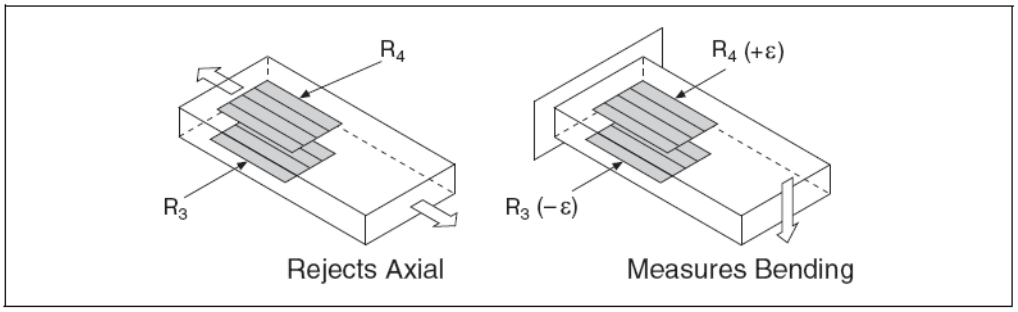

Рисунок 2-9. 1/2–мостовая тензометрическая схема, тип конфигурации II, измеряет деформацию изгиба (Bending), и не воспринимает продольную деформацию (Axial)

Тензомост «1/2 моста — тип II» обладает следующими характеристиками:

Два активных тензометрических элемента. Один из активных тензометрических элементов монтируется по направлению деформации изгиба на одной стороне деформируемого образца (сверху), а другой — в том же направлении с противоположной стороны (снизу).

Дополняющие резисторы (R_1 и R_2) образуют дополняющий полумост (находятся внутри модуля PXIe-4330/4331).

Обладает чувствительностью к деформации изгиба.

Не воспринимает продольную деформацию.

Чувствительность при относительной деформации 1 με примерно равна 1 мкВ/В для коэффициента тензочувствительности 2.0..

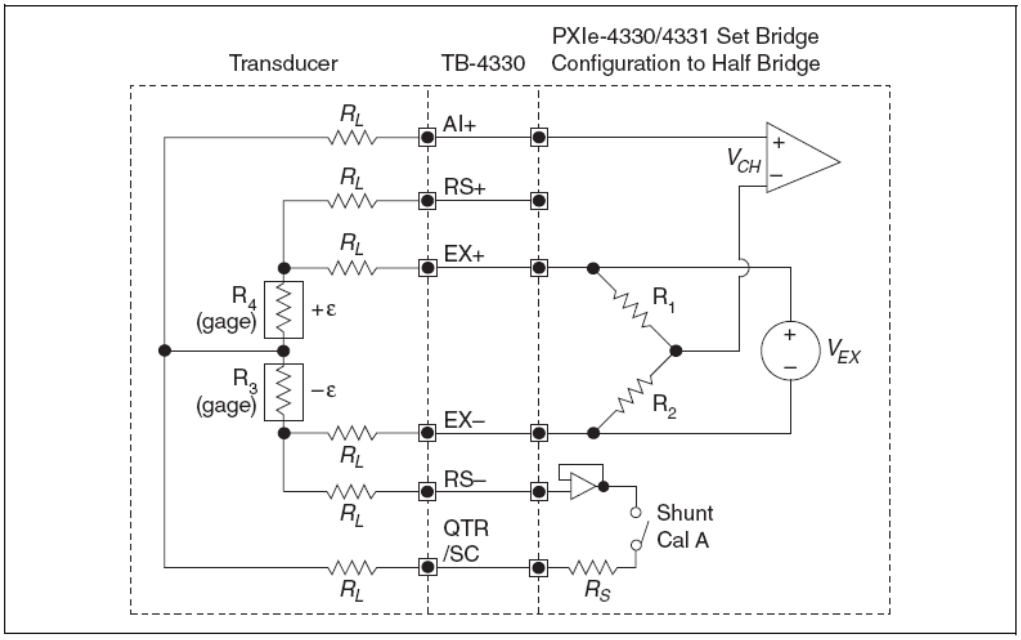

Рисунок 2-10. Принципиальная схема конфигурации «1/2 моста — тип II»

На принципиальной схеме и в последующих уравнениях применяются следующие обозначения:

R_1 и R_2 — резисторы дополнения полумостовой схемы (находятся внутри модуля PXIe-4330/4331).

R_3 — активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию сжатия $-\varepsilon$.

R_S — калибровочный шунт (находится внутри модуля PXIe-4330/4331).

R_4 — активный тензочувствительный элемент, который измеряет деформацию растяжения (+ε).

R_L — сопротивление соединительной линии.

GF — коэффициент тензочувствительности (указывается производителем тензочувствительного элемента).

V_{CH} — измеряемое выходное напряжение моста.

V_{EX} — напряжение питания (генерируется модулем PXIe-4330/4331).

V_r — отношение, используемое в уравнениях преобразования деформации в напряжение, для моста с компенсацией смещения:

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

$V_{CH} \quad \varepsilon \neq 0$ — выходное напряжение при наличии деформации,

$V_{CH} \quad \varepsilon = 0$ — выходное напряжение при отсутствии деформации

Примечание: Отношение выходного напряжения к напряжению питания моста вычисляется внутри модуля PXIe-4330/4331.

Уравнение преобразования отношения напряжений в единицы деформации имеет вид:

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

Full-Bridge Type I (Полный мост — тип I)

Конфигурация тензомоста «полный мост — тип I» предназначена для измерения только деформации изгиба. На рисунке 2-11 показано, как располагать тензорезисторы при измерении деформации изгиба, а на рисунке 2-12 приведена принципиальная схема данной конфигурации.

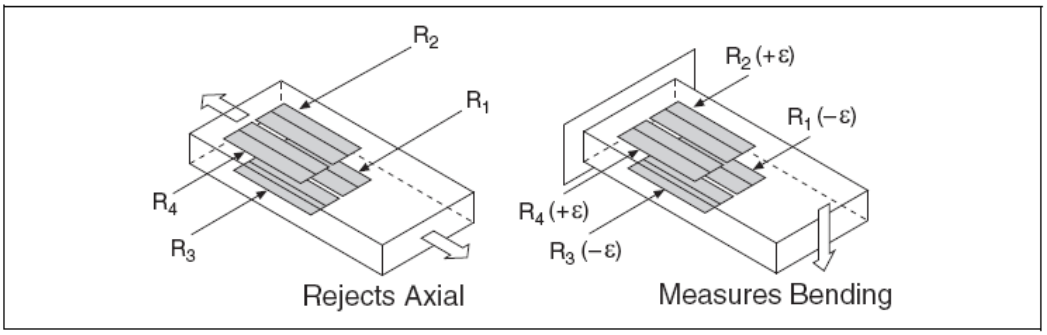

Рисунок 2-11. Полномостовая тензометрическая схема, тип конфигурации II, измеряет деформацию изгиба (Bending), и не воспринимает продольную деформацию (Axial)

Тензомост «полный мост — тип I» обладает следующими характеристиками:

Четыре активных тензометрических элемента. Два активных тензочувствительных 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.

Чувствительность при относительной деформации 1 με примерно равна 2 мкВ/В для коэффициента тензочувствительности 2.0.

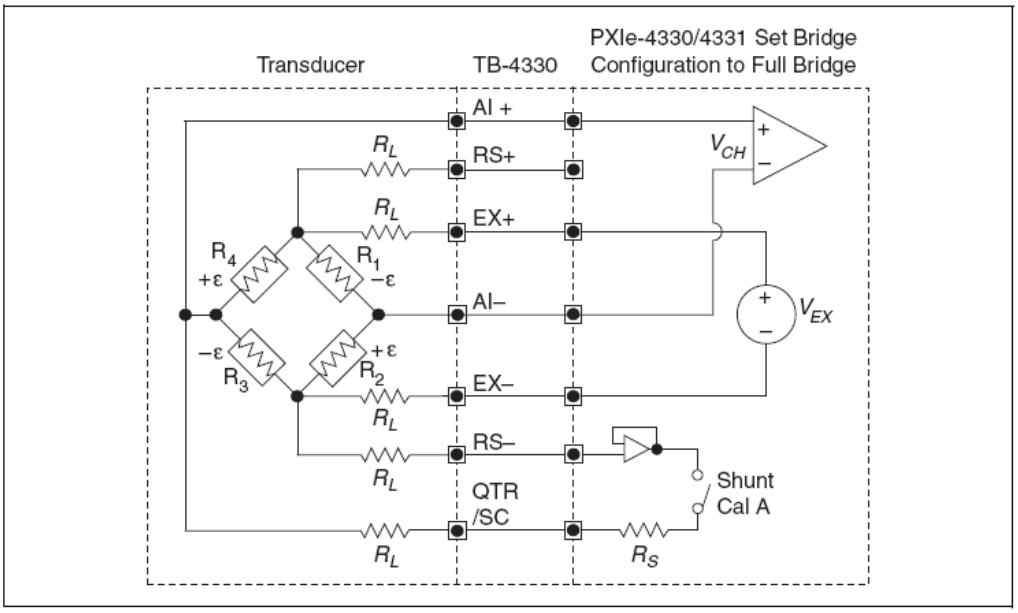

Рисунок 2-12. Принципиальная схема конфигурации «полный мост — тип I»

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).

R_S — калибровочный шунт (находится внутри модуля PXIe-4330/4331).

R_L — сопротивление соединительной линии.

GF — коэффициент тензочувствительности (указывается производителем тензочувствительного элемента).

V_{CH} — измеряемое выходное напряжения моста.

V_{CH} — напряжение питания (генерируется модулем PXIe-4330/4331).

V_r — отношение, используемое в уравнениях преобразования деформации в напряжение, для моста с компенсацией смещения:

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

$V_{CH} \quad \varepsilon \neq 0$ — выходное напряжение при наличии деформации,

$V_{CH} \quad \varepsilon = 0$ — выходное напряжение при отсутствии деформации

Примечание: Отношение выходного напряжения к напряжению питания моста вычисляется внутри модуля PXIe-4330/4331.

Уравнение преобразования отношения напряжений в единицы деформации имеет вид:

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

Full-Bridge Type II (Полный мост — тип II)

Конфигурация тензомоста «полный мост — тип II» предназначена для измерения только деформации изгиба. На рисунке 2-13 показано, как располагать тензорезисторы при измерении деформации изгиба, а на рисунке 2-14 приведена принципиальная схема данной конфигурации.

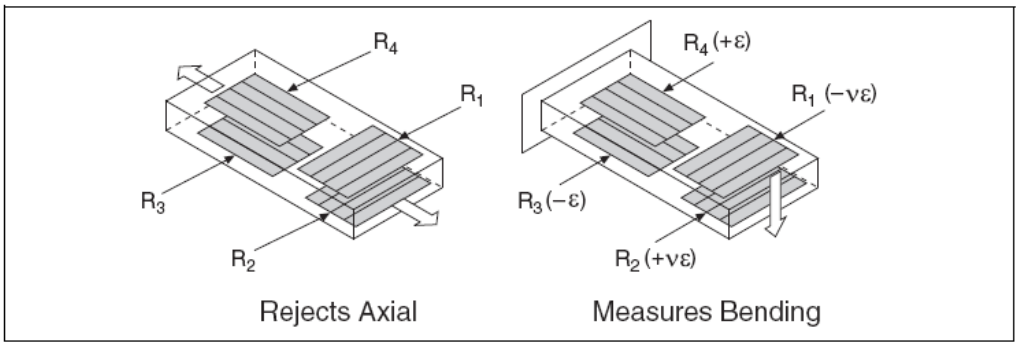

Рисунок 2-13. Полномостовая тензометрическая схема, тип конфигурации II, измеряет деформацию изгиба (Bending), и не воспринимает продольную деформацию (Axial)

Тензомост «полный мост — тип II» обладает следующими характеристиками:

Четыре активных тензометрических элемента. Два из четырех активных тензочувствительных элементов монтируется 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.

Чувствительность при относительной деформации 1 με примерно равна 1.3 мкВ/В для коэффициента тензочувствительности 2.0.

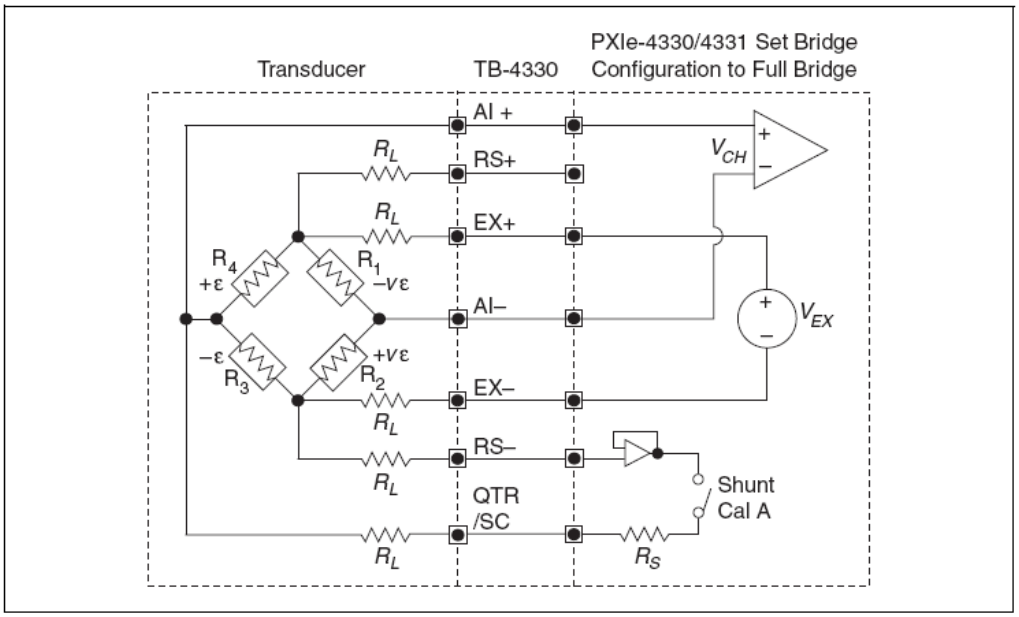

Рисунок 2-14. Принципиальная схема конфигурации «полный мост — тип II»

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).

R_S — калибровочный шунт (находится внутри модуля PXIe-4330/4331).

R_L — сопротивление соединительной линии.

GF — коэффициент тензочувствительности (указывается производителем тензочувствительного элемента).

ν — коэффициент Пуассона (коэффициент поперечной деформации)— отношение поперечной деформации к продольной деформации, взятое со знаком «минус» (свойство материала, из которого изготовлен исследуемый образец).

V_{CH} — измеряемое выходное напряжение моста.

V_{EX} — напряжение питания (генерируется модулем PXIe-4330/4331).

V_r — отношение, используемое в уравнениях преобразования деформации в напряжение, для моста с компенсацией смещения:

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

$V_{CH} \quad \varepsilon \neq 0$ — выходное напряжение при наличии деформации,

V_{CH} $\varepsilon = 0$ — выходное напряжение при отсутствии деформации

Примечание: Отношение выходного напряжения к напряжению питания моста вычисляется внутри модуля PXIe-4330/4331.

Уравнение преобразования отношения напряжений в единицы деформации имеет вид:

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

Full-Bridge Type III (Полный мост — тип III)

Конфигурация тензомоста «полный мост — тип III» предназначена для измерения только продольной деформации. На рисунке 2-15 показано, как располагать тензорезисторы при измерении продольной деформации, а на рисунке 2-16 приведена принципиальная схема данной конфигурации.

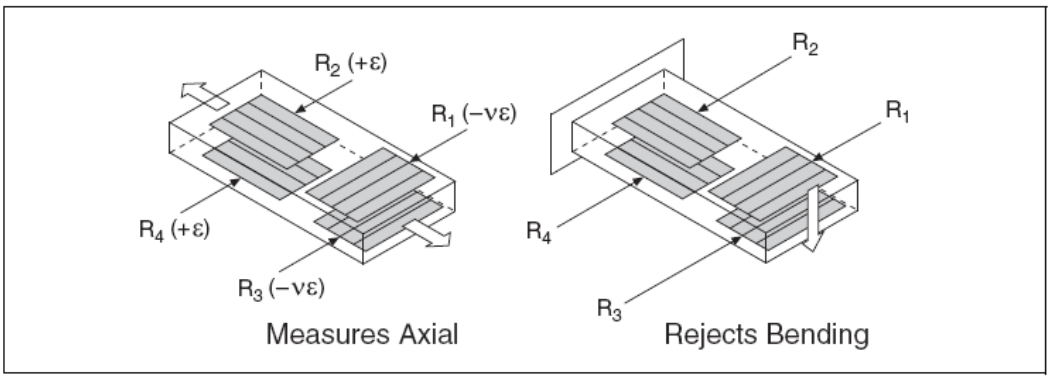

Рисунок 2-15. Полномостовая тензометрическая схема, тип конфигурации III, измеряет продольную деформацию изгиба (Bending), и не воспринимает деформацию изгиба (Axial)

Тензомост «полный мост — тип III» обладает следующими характеристиками:

Четыре активных тензометрических элемента. Два из четырех активных тензочувствительных элементов монтируются по направлению продольной деформации, 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 деформацию изгиба.

Чувствительность при относительной деформации 1 $\mu\varepsilon$ примерно равна 1.3 мкВ/В для коэффициента тензочувствительности 2.0.

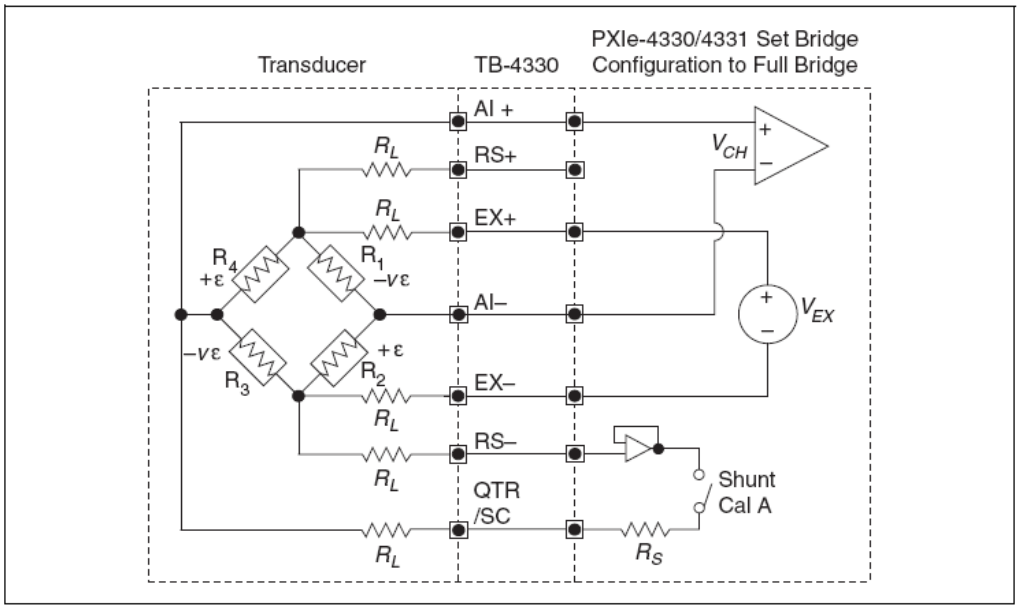

Рисунок 2-16. Принципиальная схема конфигурации «полный мост — тип III»

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).

R_S — калибровочный шунт (находится внутри модуля PXIe-4330/4331).

R_L — сопротивление соединительной линии.

GF — коэффициент тензочувствительности (указывается производителем тензочувствительного элемента).

ν — коэффициент Пуассона (коэффициент поперечной деформации)— отношение поперечной деформации к продольной деформации, взятое со знаком «минус» (свойство материала, из которого изготовлен исследуемый образец).

V_{CH} — измеряемое выходное напряжение моста.

V_{EX} — напряжение питания (генерируется модулем PXIe-4330/4331).

V_r — отношение, используемое в уравнениях преобразования деформации в напряжение, для моста с компенсацией смещения:

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

$V_{CH} \quad \varepsilon \neq 0$ — выходное напряжение при наличии деформации,

V_{CH} $\varepsilon = 0$ — выходное напряжение при отсутствии деформации

Примечание: Отношение выходного напряжения к напряжению питания моста вычисляется внутри модуля PXIe-4330/4331.

Уравнение преобразования напряжения в единицы деформации имеет вид:

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

Конфигурации датчиков силы, давления и момента

Модуль PXIe-4330/4331 может работать с датчиками силы (такими как датчики нагрузки), давления или момента, которые обладают следующими свойствами:

схема на основе мосте Уитстона[1]

выходной сигнал в виде отношения напряжений (мВ/В или В/В) без усиления[2]

Как правило, эти датчики построены по полномостовой схеме с номинальным сопротивлением моста 350 Ом, но можно использовать и другие схемы с другими номинальными сопротивлениями. Принципиальная схема включения датчика силы, давления или момента приведена на рис. 2-17.

[1] Датчики, которые измеряют силу, давление или момент на основе других принципов (например, пьезоэлектрические датчики силы), нельзя подключать к модулю NI PXIe-4330/4331.

[2] Датчики, в которых есть встроенный усилитель напряжения или тока, нельзя использовать вместе с модулем NI PXIe-4330/4331.

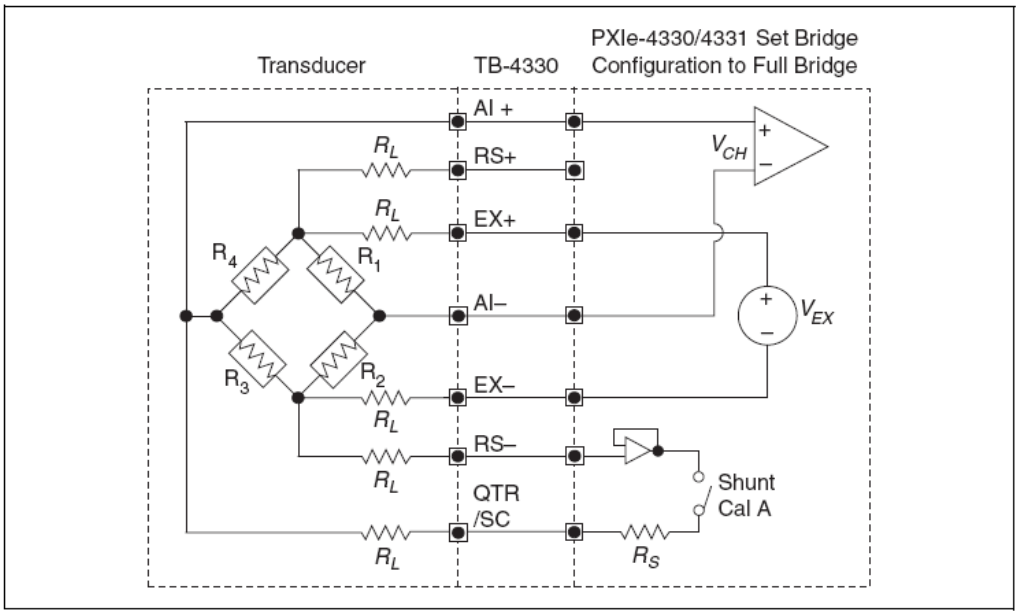

Рисунок 2-17. Принципиальная схема подключения датчиков силы, давления или момента

На принципиальной схеме и в последующих уравнениях применяются следующие обозначения:

R_1, R_2, R_3, R_4, — активные элементы моста, расположенные внутри датчика.

R_S — калибровочный шунт (находится внутри модуля PXIe-4330/4331).

R_L — сопротивление соединительной линии.

V_{CH} — измеряемое выходное напряжение моста.

V_{EX} — напряжение питания (генерируется модулем PXIe-4330/4331).

V_r — отношение, используемое в уравнениях преобразования деформации в напряжение, для моста с компенсацией смещения:

$$V_r = \left(\frac{V_{CH} \ \textit{под нагрузкой} \ - V_{CH} \ \textit{без нагрузки}}{V_{EX}} \right)$$

Примечание: Отношение выходного напряжения к напряжению питания моста вычисляется внутри модуля PXIe-4330/4331.

Отсчеты электрического сигнала на выходе модуля можно преобразовать в отсчеты силы, давления или момента путем линейного, табличного или полиномиального масштабирования.

В драйвере DAQmx линейное преобразование отсчетов сигналов с мостовых датчиков силы, давления и момента выполняется по двум точкам, которые задаются в виде пар значений соответственно неэлектрической и электрической величины: (x_1, y_1) и (x_2, y_2). Эти значения следует брать из калибровочного сертификата датчика (calibration certificate), если таковой имеется. При отсутствии данного документа их можно взять из спецификаций или краткого описания датчика. Чтобы точно определить коэффициент наклона в линейном уравнении масштабирования, можно

использовать любые две точки, расположенные достаточно далеко друг от друга, например:

x_1 — начальное значение исходной неэлектрической величины (силы, давления или момента), воспринимаемое датчиком.

y_1 — значение выходной электрической величины, соответствующее начальному значению неэлектрической величины, воспринятой датчиком, выраженное в *мВ/В* или *В/В*.

x_2 — максимальное значение исходной неэлектрической величины, воспринимаемое датчиком.

y_2 — значение выходной электрической величины, соответствующее максимальному значению неэлектрической величины, воспринятой датчиком, выраженное в *мВ/В* или *В/В*.

Примечание: В калибровочных сертификатах на некоторые датчики значения выходной электрической величины указываются в мВ или В, а не в мВ/В или В/В соответственно. В этом случае эти значения следует делить на значение напряжения питания, при котором проводилась калибровка.

Линейное преобразование результата измерения электрической величины V_r в соответствующее значение исходной неэлектрической величины x выполняется по двум точкам на основании следующих уравнений:

$$m = \frac{x_1 - x_2}{y_1 - y_2},$$

$$b = x_1 - m \times y_1,$$

$$x = m \times V_r + b.$$

Если применяется компенсация смещения нуля (балансировка моста), то начальное значение выходной электрической величины можно принять точно равным 0 В/В. В этом случае вышеприведенные уравнения примут более простой вид:

$$m = \frac{x_2}{y_2},$$

$$x = m \times V_r.$$

Если в калибровочном сертификате на датчик приведена таблица для более чем двух точек или полином, то это позволяет получать более точные результаты измерений за счет компенсации нелинейности характеристики датчика. При табличном масштабировании драйверу DAQmx требуется набор значений электрической величины и соответствующих им значений неэлектрической величины. При полиномиальном масштабировании драйверу нужны коэффициенты полиномиального описания прямой и

обратной характеристик датчика. Если вам известен набор коэффициентов одной из этих характеристик, то с помощью VI/функции DAQmx Compute Reverse Polynomial Coefficients можно определить набор коэффициентов соответствующей другой характеристики.

Синфазное напряжение

Модуль PXIe-4330/4331 работает при синфазных напряжениях в пределах ±2 В. Балансировка большинства полномостовых датчиков осуществляется путем уравновешивания верхних и нижних плеч моста, в результате чего синфазное напряжение становится равным половине напряжения питания, если датчик подключен к несимметричному источнику напряжения, или 0 В, если датчик подключен к симметричному дифференциальному источнику напряжения. Поскольку в состав модуля PXIe/4330/4331 входит симметричный дифференциальный источник напряжения питания, синфазное напряжение для уравновешенных мостовых датчиков равно 0 В. Несмотря на это, у некоторых полномостовых датчиков присутствует асимметрия между верхними и нижними плечами. Небаланс общего вида часто выражается отношением выходного напряжения датчика к напряжению несимметричного источника питания. Чтобы перейти от синфазного напряжения, заданного для несимметричного источника, к синфазному напряжению V_{CM} , порождаемому симметричным источником, воспользуйтесь следующей формулой:

$$V_{CM} = \frac{V_{EX}}{2} \times (2r - 1),$$

где r — отношение синфазного напряжения датчика к напряжению питания, приведенное в спецификациях на датчик.

Если, например, для какого-нибудь датчика указано синфазное напряжение 3 В при несимметричном напряжении питания 10 В, коэффициент r равен 0.3; при подключении датчика к симметричному дифференциальному источнику напряжения 10 В синфазное напряжение будет равно –2 В. В данном случае синфазное напряжение –2 В попадает в диапазон допустимых синфазных напряжений для модуля PXIe-4330/4331. Если бы синфазное напряжение вышло за пределы допустимого диапазона для этого модуля, то следовало бы уменьшить напряжение питания до уровня, при котором синфазное напряжение оказалось бы внутри диапазона. Чтобы найти максимальное напряжение питания, удовлетворяющее данному критерию, следует решить следующее уравнение:

$$V_{EX} = \frac{2(V_{CM})}{(2r - 1)},$$

причем V_{CM} = – 2 В, если r < 0.5, и V_{CM} = + 2 В, если r > 0.5.

Экранирование и заземление

Примечание: Чтобы обеспечить соответствие требованиям электромагнитной совместимости (ЭМС), следует использовать экранированные провода и заземлять шасси.

Назначение контактов

Назначения контактов сигнального разъема на лицевой панели модуля PXIe-4330/4331 приведены в таблице 2-1. Назначение каждого сигнала приведены в таблице 2-2 раздела *Описание сигналов на разъеме ввода-вывода*. Чтобы узнать расположение сигналов на коннекторном блоке, обратитесь к руководству по подготовке к работе коннекторного блока.

Таблица 2-1. Назначение контактов разъема на лицевой панели модуля PXIe-4330/4331

Схема расположения контактов	Номер контакта	Столбец A	Столбец B	Столбец C	Канал
Столбец	32	AIGND	EX+	AI+	0
	31	QTR/SC	EX–	AI–	
	30	QTR/SC	RS–	RS+	
	29	AIGND	EX+	AI+	1
	28	QTR/SC	EX–	AI–	
	27	QTR/SC	RS–	RS+	
	26	AIGND	EX+	AI+	2
	25	QTR/SC	EX–	AI–	
	24	QTR/SC	RS–	RS+	
	23	AIGND	EX+	AI+	3
	22	QTR/SC	EX–	AI–	
	21	QTR/SC	RS–	RS+	
	20	DGND	T0+	T1+	—
	19	T3+	T0–	T1–	
	18	T3–	T2–	T2+	
	17	DGND	T4+	T5+	
	16	T7+	T4–	T5–	
	15	T7–	T6–	T6+	
	14	AIGND	EX+	AI+	4
	13	QTR/SC	EX–	AI–	
	12	QTR/SC	RS–	RS+	
	11	AIGND	EX+	AI+	5
	10	QTR/SC	EX–	AI–	
	9	QTR/SC	RS–	RS+	
	8	AIGND	EX+	AI+	6
	7	QTR/SC	EX–	AI–	
	6	QTR/SC	RS–	RS+	
	5	AIGND	EX+	AI+	7
	4	QTR/SC	EX–	AI–	
	3	QTR/SC	RS–	RS+	
RSVD — зарезервировано	2	RSVD	DGND	RSVD	—
	1	RSVD	RSVD	RSVD	

Описание сигналов на разъеме ввода-вывода

В таблице 2-2 приведено описание сигналов на разъеме ввода-вывода.

Таблица 2-2. Описание сигналов на разъеме ввода-вывода

Обозначения сигналов	Направление	Описание
AIGND	—	Земля цепи аналогового ввода
AI<0..7>+, AI<0..7>–	Ввод	Неинвертирующие (AI+) и инвертирующие (AI–) входы дифференциальных каналов аналогового ввода 0..7.
QTR/SC<0..7>	—	Точка подключения резистора дополнения четвертьмостовой схемы и калибровочного шунта.
EX<0..7>+, EX<0..7>–	Вывод	Выходы дифференциального источника напряжения моста.
RS<0..7>+, RS<0..7>–	Ввод	Вход цепи удаленной обратной связи. Между контактами этого входа измеряется действительное напряжение, приложенное к мосту.
T<0..7>+	Ввод/вывод	Линии цифрового ввода-вывода для обмена информацией с TEDS-датчиками.
T<0..7>–	—	Инверсные опорные линии цифрового ввода-вывода для обмена информацией с TEDS-датчиками. Соединены внутри модуля с цепью цифровой земли.
RSVD	—	Эти контакты зарезервированы для подключения дополнительных компонентов.
DGND	—	Цифровая земля — эти контакты обеспечивают общий провод для цифровых сигналов и соединены с цифровой землей модуля.

Блок-схема модуля PXIe-4330/4331

На рисунке 2-18 приведена блок-схема подсистемы аналогового ввода модуля PXIe-4330/4331. С программируемого блока питания питающее напряжение подается на мост или датчик, причем его уровень настраивается для каждого канала индивидуально. Это напряжение, воспринимаемое как локально, так и дистанционно, возвращается на контакты, предназначенные для подключения цепи удаленной обратной связи (RS+ и RS–), и затем поступает на АЦП в качестве опорного через усилитель с программируемым коэффициентом усиления. Коэффициент усиления выбирается автоматически в зависимости от выбранного уровня напряжения питания.

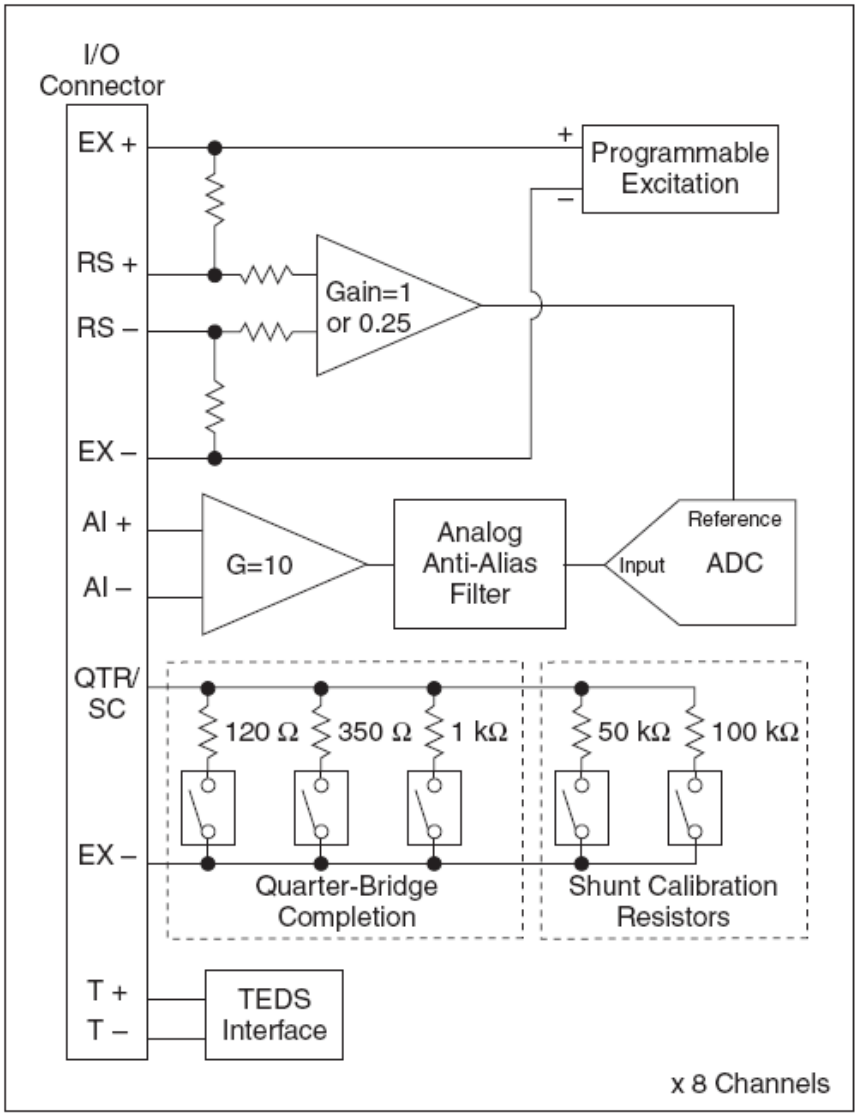

Рисунок 2-18. Блок-схема подсистемы аналогового ввода и кондиционирования сигналов модуля PXIe-4330/4331

I/O Connector — разъем ввода-вывода, Programmable Excitation — программируемый источник питания, Gain=1 or 0.25 — коэффициент передачи, равный 1 или 0.25, Analog Anti-Alias Filter — аналоговый антиалиазинговый фильтр, ADC — АЦП, Input — вход, Reference — опорное напряжение, Quarter-Bridge Completion — дополнение четвертьмостовой схемы, Shunt Calibration Resistors — калибровочные шунты, TEDS Interface — TEDS-интерфейс, x 8 каналов — то же самое для 8 каналов

Напряжение с выхода моста подается через контакты AI+ и AI– на усилитель, а затем подвергается фильтрации, перед тем как поступить на вход АЦП. Далее АЦП выполняет измерение отношения входного сигнала к опорному, чтобы определить действительное отклонение напряжения на выходе моста или датчика.

Модуль PXIe-4330/4331 поддерживает измерения с полумостовыми, четвертьмостовыми и полномостовыми схемами. При измерениях по четвертьмостовой схеме можно сконфигурировать модуль так, чтобы выбирался один из внутренних дополняющих резисторов: 120 Ом, 350 Ом или 1 кОм. Кроме того, можно разрешить использование калибровочных шунтов, по отдельности или параллельно, чтобы задавать одно из трех возможных значений калибровочных сопротивлений.

В каждом канала есть также интерфейс с датчиками с электронными таблицами (TEDS), который позволяет считывать информацию с поддерживаемых датчиков, чтобы обеспечить их автоматическую идентификацию и масштабирование (plug & play).

На рисунке 2-19 приведена схема взаимодействия АЦП каждого канала с компьютером через шину PCI Express. Данные, считываемые из АЦП, аппаратными средствами освобождаются от аддитивной и мультипликативной погрешностей. Затем, если необходимо, они подвергаются цифровой фильтрации и децимации (прореживанию) таким образом, чтобы соответствовали заданной частоте дискретизации. Наконец, данные помещаются в FIFO-буфер, откуда через шину PCI Express передаются в память компьютера.

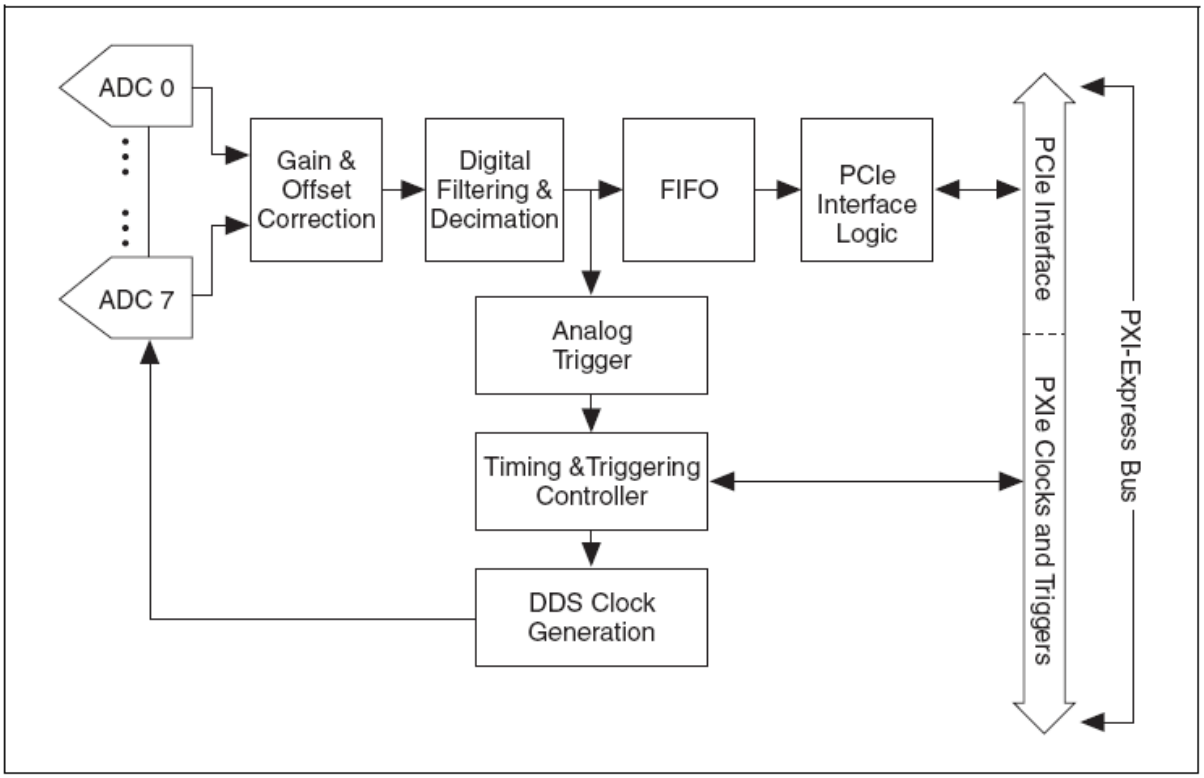

Рисунок 2-19. Блок-схема цифровой части модуля PXIe-4330/4331

Gain & Offset Correction — коррекция мультипликативной и аддитивной погрешностей, Digital Filtering & Decimation — цифровая фильтрация и децимация, Analog Trigger — схема аналогового запуска, Timing & Triggering Controller — контроллер синхронизации и запуска, DDS Clock Generation — тактовый генератор синхронизации АЦП, PCIe Interface Logic — логическая схема управления интерфейсом PCI Express, PCIe Interface — шинный интерфейс PCI Express, PXIe Clocks and Triggers — шина синхронизации и запуска интерфейса PXI Express, PXI-Express Bus — шина PXI Express

Управление синхронизацией и запуском измерений осуществляет специальный встроенный контроллер. С помощью этого контроллера конфигурируется встроенный тактовый генератор синхронизации АЦП, который выдает на АЦП тактовые импульсы с избыточной частотой следования, чтобы измерения выполнялись с заданной частотой дискретизации. Эти тактовые импульсы могут быть сгенерированы как встроенным генератором, так и с использованием импульсов частотой 100 МГц интерфейса PXI Express с объединительной платы. Запуск тактового генератора синхронизации АЦП от генератора 100 МГц на объединительной

плате позволяет синхронизировать несколько модулей PXIe-4330/4331. Кроме передачи и приема сигналов запуска с объединительной платы PXIe, модуль PXIe-4330/4331 может быть настроен на генерацию события схемой аналогового запуска из аналоговых сигналов оцифрованных соответствующими АЦП.

Основные понятия в области измерений сигналов

В этом разделе приведена информация об основных понятиях в области измерений сигналов, таких как программное масштабирование, уравнения преобразований, дельта-сигма преобразование, частота Найквиста, частотный спектр, тактирование, запуск и синхронизация.

Программное масштабирование и уравнения преобразования

После того, как вы выполнили измерение исследуемого сигнала, результат измерения можно программным путем перевести в соответствующие единицы измерения. В DAQmx это делается автоматически с помощью тензометрической задачи или канала. Вы можете также вручную масштабировать результаты измерений в приложении, используя уравнения преобразования результата измерений в единицы деформации, которые приведены в настоящем документе для каждого типа тензометрической схемы. Модуль PXIe-4330/4331 поддерживает также измерения силы, давления, момента, отношения напряжения на выходе моста к напряжению питания (В/В), а также измерения напряжения на выходе пользовательской схемы преобразования с внешним питанием.

Наконец, функции преобразования напряжения в единицы деформации есть в LabVIEW и DAQmx. В LabVIEW соответствующая функция преобразования Convert Strain Gage Reading VI находится в суб-палитре **Data Acquisition»Signal Conditioning**. Прототипы функций драйвера NI-DAQ `Strain_Convert` и `Strain_Buf_Convert` находятся в заголовочном файле `convert.h` для языка программирования C/C++ и в файле `convert.bas` для языка Visual Basic.

За более подробной информацией обратитесь к руководству *LabVIEW Measurement Manual* (Измерения в LabVIEW). Наименования типов тензометрических схем однозначно соответствуют вариантам выбора мостовых схем в MAX и в VI Convert Strain Gage Reading.

Частота и полоса частот Найквиста

Любая система, такая как АЦП, в которой осуществляется дискретизация, может измерять сигналы только с ограниченным спектром. Следует особо отметить, что при частоте дискретизации f_s можно представлять сигналы, все спектральные составляющие которых находятся ниже предельной частоты $f_s/2$, которая известна под названием *частота Найквиста*. Полоса частот в диапазоне от 0 Гц до частоты Найквиста называют *полосойчастот Найквиста*.

АЦП

В АЦП модуля PXIe-4330/4331 используется метод преобразования, называемый дельта-сигма модуляцией. Данный подход включает в себя избыточную дискретизацию входного сигнала с повышенной частотой, а затем децимацию и фильтрацию результирующего сигнала, чтобы получить желаемую частоту дискретизации. Если, например, требуется получить частоту дискретизации 100 кГц, то на самом деле каждый АЦП берет отсчеты входного сигнала с частотой 6.4 МГц, т.е. в 64 раза больше требуемой, при этом формируются 1-битовые отсчеты, которые подаются на цифровой фильтр. Этот фильтр подавляет спектральные составляющие выше частоты Найквиста, равной 50 кГц. Таким образом, формируемый АЦП 1-битовый поток данных с частотой дискретизации 6.4 МГц содержит всю необходимую информацию для воспроизведения 24-битовых отсчетов с частотой дискретизации 100 кГц. АЦП на основе дельта-сигма модуляции осуществляет такой переход от высокой скорости передачи данных к высокому разрешению с помощью приема, называемого «ограничение шума». Это означает, что АЦП добавляет к измеряемому сигналу такой случайный шум, что результирующий шум квантования, несмотря на большой уровень, подавляется на частотах выше частоты Найквиста, которая в нашем случае равна 50 кГц. Этот шум не коррелирован с входным сигналом и почти полностью подавляется цифровым фильтром.

Результирующий сигнал на выходе фильтра имеет ограниченный спектр и широкий динамический диапазон. Одним из преимуществ дельта-сигма АЦП является то, что в качестве внутреннего интерфейса там используется 1-битовый ЦАП. Следовательно, у дельта-сигма АЦП отсутствует дифференциальная нелинейность (ДНЛ) и связанный с ней шум, присущий АЦП с высоким разрешением, в которых применяются другие методы преобразования.

Входные аналоговые фильтры

Чтобы обеспечить точное представление сигналов с ограниченным спектром при одновременном подавлении внеполосных спектральных составляющих, в модуле PXIe-4330/4331 используется комбинация аналоговой и цифровой фильтрации. Это позволяет выделять отдельные участки (диапазоны) спектра измеряемых сигналов. Принято различать три важных участка в частотном спектре сигнала – полосу пропускания, полосу заграждения и полосу, в которой отсутствует эффект наложения спектров («алиазинг»).

Точность воспроизведения измеряемых сигналов в пределах полосы пропускания модулем PXIe-4330/4331 в первую очередь определяется неравномерностью амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и нелинейностью фазо-частотной характеристики (ФЧХ). Все сигналы, спектр которых попадает в полосу частот, где отсутствует эффект наложения спектров, не подвержены этому эффекту, или, другими словами, у них путем фильтрации подавлены составляющие, как минимум, во всей полосе заграждения.

Антиалиазинговые фильтры

Дигитайзер или АЦП может оцифровывать сигналы, которые содержат спектральные составляющие выше частоты Найквиста. Нежелательный эффект попадания внеполосных спектральных составляющих в спектр Найквиста называют «алиазингом» или эффектом наложения спектров. Самая большая опасность этого эффекта заключается в том, что, наблюдая сигнал на выходе АЦП, невозможно определить, имеет ли место данный эффект. Если сигнал состоит из нескольких спектральных составляющих (гармоник), некоторые из них могут быть представлены правильно, а другие могут быть искажены ложными компонентами.

Можно гарантировать, что в оцифрованных данных нет ложных составляющих выше частоты Найквиста, если до оцифровки или в процессе нее с помощью фильтрации нижних частот подавить эти гармоники. Модули PXIe-4330/4331 осуществляют это одновременно с помощью аналоговых и цифровых фильтров.

Модули PXIe-4330 построены на основе архитектуры с избыточной дискретизацией и цифровых фильтров с крутой АЧХ, у которых частота среза зависит от частоты дискретизации. Поэтому фильтр автоматически подстраивает свою АЧХ в соответствии с частотой Найквиста. Несмотря на то, что цифровой фильтр подавляет почти все внеполосные гармоники, он все равно остается чувствительным к ложным составляющим, появляющимся из некоторых узких спектральных областей, расположенных намного выше частоты дискретизации. Эти составляющие называют «ложными провалами» спектра сигнала на выходе АЦП.

Кроме цифровых фильтров у модулей PXIe-4330/4331 есть аналоговый фильтр с фиксированной частотой среза, который подавляет высокочастотные составляющие в спектре аналогового сигнала до того, как он поступит на вход АЦП. Аналоговая фильтрация обеспечивает возможность подавления ложных узкополосных высокочастотных составляющих, чего не позволяет сделать цифровой фильтр.

В то время, как АЧХ цифрового фильтра прямо пропорционально зависит от частоты дискретизации, частота среза аналогового фильтра по уровню –3 дБ остается фиксированной. Модуль PXIe-4330/4331 автоматически настраивает свою избыточную частоту дискретизации на самый высокий уровень защиты от наложения спектров независимо от текущей частоты дискретизации.

Полоса пропускания

Внутри полосы пропускания уровень коэффициента усиления или ослабления (коэффициента передачи) сигналов зависит от частоты. Небольшие колебания зависимости коэффициента передачи от частоты называют неравномерностью АЧХ. Цифровые фильтры модуля PXIe-4330/4331 подстраивают ширину полосы пропускания в зависимости от частоты дискретизации. Таким образом, значение коэффициента передачи на некоторой заданной частоте зависит от частоты дискретизации.

Полоса заграждения

Фильтр значительно ослабляет все спектральные составляющие за пределами частоты заграждения. Основное назначение этого фильтра — предотвращение эффекта наложения спектров. Таким образом, полоса заграждения однозначно зависит от частоты дискретизации. За уровень подавления сигнала в полосе заграждения принимают минимальное ослабление, которое оказал фильтр на все спектральные составляющие сигнала внутри полосы заграждения.

Полоса, в которой отсутствует эффект наложения спектра

Любой сигнал, спектр которого попадает в полосу пропускания модуля PXIe-4330/4331, где нет эффекта наложения спектра, не является ложной составляющей сигналов, имеющих более высокие частоты. Полоса частот, где не наблюдается эффект наложения спектров, определяет способность фильтра подавлять спектральные составляющие за пределами частоты заграждения. Она вычисляется как разность между частотой дискретизации и частотой полосы заграждения.

Групповая задержка фильтра

Любое событие, которое происходит с сигналом на входе модуля в некоторый момент времени, проявляется на выходе цифрового фильтра с большой задержкой, которой соответствует большое количество отсчетов оцифрованного сигнала. Эта задержка называется групповой задержкой.

Чтобы упростить процесс сбора данных с модулей PXIe-4330/4331 и привязку этих данных к данным от других модулей, групповая задержка компенсируется следующими способами:

Выходной сигнал Sample Clock генерируется модулем PXIe-4330/4331 в момент времени, когда входной сигнал доступен на входных контактах АЦП. В процессе измерений модуль генерирует сигнал Sample Clock, затем ожидает появления данных, ассоциируемых с этим сигналом взятия отсчета , после чего возвращает результат измерений. Таким образом, любые другие данные измерений, тактируемые с помощью сигнала Sample Clock, выравниваются с данными, возвращаемыми модулем.

Любые сигналы запуска, сгенерированные или принятые модулем PXIe-4330/4331, интерпретируются в зависимости от их временного положения относительно генерируемого импульса сигнала Sample Clock. Например, сигнал Start Trigger запускает сбор данных по следующему импульсу сигнала Sample Clock, который возвращает первый отсчет измеряемых данных. За более подробной информацией, как это влияет на события аналогового запуска, обратитесь к параграфу З*апуск и задержка фильтра*.

При любых измерениях с программной синхронизацией, синхронизацией по запросу модуль PXIe-4330/4331 находится в режиме ожидания до тех пор, пока не истечет время групповой задержки, и только затем возвращает отсчет. В этом случае возвращаемые данные близко выравниваются по времени с моментом их запроса. Несмотря на это, в

конечном итоге следует ожидать окончания времени групповой задержки до тех пор, пока не станет доступен запрошенный отсчет.

Аналогично, при аппаратной синхронизации сбора данных на очень низких частотах дискретизации следует учитывать, что до начала измерений пройдет несколько секунд, поскольку в начале измерений АЦП сбрасываются, и нужно пропустить много отсчетов до того, как импульсы дельта-сигма войдет в режим. Это время ожидания зависит от частоты дискретизации

Чтобы уменьшить время ожидания перед началом измерений, выберите более высокую частоту дискретизации.

Поддерживаемые частоты дискретизации

Модуль PXIe-4330/4331 поддерживает частоты дискретизации от 1 до 100 Гц с шагом 1 Гц, а также частоты дискретизации от 100 Гц до предельной частоты, которую обеспечивает модуль, с шагом 100 Гц.

Тактирование и запуск

В этом разделе приведена информация о реализации тактирования и запуска.

Базовый тактовый генератор

Для управления преобразованием АЦП требуется повышенная частота следования тактовых импульсов. Эта частота больше частоты дискретизации. У модулей PXIe-4330/4331 такие тактовые импульсы формируются специальным тактовым генератором DDS, который, в свою очередь, работает от опорного сигнала частотой 100 МГц. Этот опорный сигнал может быть получен от встроенного генератора или с объединительной платы PXI. Синхронизировать несколько модулей можно, выбрав в качестве опорного сигнала импульсы частотой 100 МГц объединительной платы PXI. За более подробной информацией обратитесь к параграфу *Синхронизация с помощью опорного генератора*.

Внешний генератор

АЦП модуля PXIe-4330/4331 нельзя синхронизировать от таких внешних источников, как датчики перемещения и тахометры. Несмотря на это, средства обработки сигналов в библиотеке Sound and Vibration Measurement Suite часто обеспечивают прекрасную альтернативу внешней синхронизации в приложениях, связанных с применением датчика перемещения или тахометра. За более подробной информацией об этой библиотеке обратитесь на сайт `ni.com/soundandvibration`.

Цифровой запуск

Модули PXIe-4330/4331 можно сконфигурировать таким образом, чтобы они начинали измерения по сигналу цифрового запуска с одной из линий запуска на объединительной плате PXI Express. Схема запуска может срабатывать как по нарастающему, так и по ниспадающему фронту. Кроме того, в схеме запуска есть программируемый противодребезговый фильтр, который полезен в случае, если сигнал запуска зашумлен.

Аналоговый запуск

Аналоговый запуск позволяет запускать приложение входным сигналом с учетом заданного уровня запуска. Схему аналогового запуска можно сконфигурировать на слежение за любым каналом измерения. Выбор канала ввода в качестве канала запуска не влияет на его способность измерять сигналы.

Сигнал аналогового запуска может быть использован только в качестве опорного сигнала. В случае измерений с запуском по опорному сигналу, модуль настраивается на сбор некоторого количества отсчетов до события запуска (предзапуск) и некоторого количества отсчетов после этого события (постзапуск). Сигнал аналогового запуска у модуля NI PXIe-4330/4331 не может быть использован для запуска процесса измерений. Это ограничение является следствием реализованного способа компенсации групповой задержки фильтра.

При использовании аналогового запуска по опорному сигналу сначала модуль ожидает накопления заданного количества отсчетов (фаза предзапуска). После этого должен появиться опорный сигнал запуска, соответствующий заданным условиям. Событие, возникшее по опорному сигналу запуска, можно также сделать доступным на шине запуска PXI Express, чтобы синхронизировать остальные модули системы.

В процессе циклического запуска по измеряемому сигналу можно наблюдать дрожание фазы (джиттер) из-за неточности момента, когда спады уровня сигнала запуска сравниваются с действительными оцифрованными данными. Несмотря на то, что джиттер сигнала запуска никогда не превышает одного периода дискретизации, он может оказаться значительным, когда частота дискретизации всего лишь в два раза выше интересующей полосы частот. Как правило, джиттер не влияет на процесс обработки данных, и его можно уменьшить, используя более высокую частоту дискретизации.

При работе с модулями PXIe-4330/4331 можно использовать несколько режимов аналогового запуска, например аналоговый запуск по фронту, аналоговый запуск по фронту с гистерезисом, запуск с наложением окна.

Аналоговый запуск по фронту

Чтобы реализовать аналоговый запуск по фронту, сконфигурируйте модуль таким образом, чтобы он обнаруживал определенный уровень измеряемого сигнала и его наклон, положительный или отрицательный. На рисунке 2-20 приведен пример аналогового запуска по нарастающему фронту. Результат

сравнения измеряемого сигнала с заданным уровнем становится истинным, когда сигнал пересекает этот уровень при изменении снизу вверх.

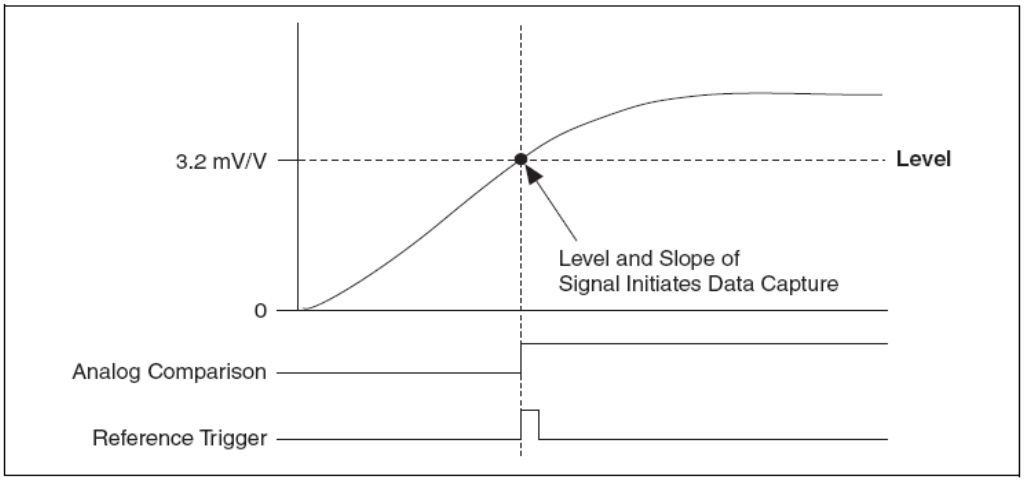

Рисунок 2-20. Аналоговый запуск при пересечении заданного уровня нарастающим фронтом

Level – уровень, Level and Slope of Signal Initiates Data Capture — уровень и наклон сигнала, при котором начинается захват данных, Analog Comparison — результат сравнения аналогового сигнала с некоторым уровнем, Reference Trigger — опорный сигнал запуска

Аналоговый запуск по фронту с гистерезисом

Если для аналогового запуска вводится гистерезис, то выше или ниже уровня срабатывания появляется окно запуска. Такой режим запуска часто используется для уменьшения количества ложных срабатываний из-за шума и джиттера измеряемого сигнала. Если, например, в примере на рисунке 2-20 с уровнем срабатывания 3.2 мВ/В вводится гистерезис 1 мВ/В, то для формирования сигнала запуска аналоговый сигнал должен начинаться или опускаться ниже 2.2 мВ/В. Условие срабатывания выполняется, когда измеряемый сигнал становится выше 3.2 мВ/В, и перестает выполняться, когда он становится ниже 2.2 мВ/В (рисунок 2-21).

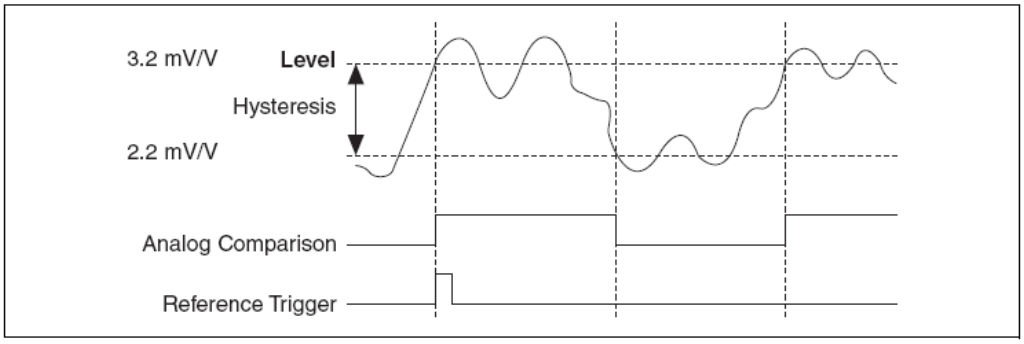

Рисунок 2-21. Аналоговый запуск по нарастающему фронту с гистерезисом

Hysteresis — гистерезис

В режиме запуска по ниспадающему фронту с гистерезисом сигнал запуска формируется, если уровень сигнал начинает уменьшаться со значения выше заданного уровня запуска плюс значение гистерезиса и пересекает значение заданного уровня. Например, если к уровню запуска 3.2 мВ/В добавить

гистерезис 1 мВ/В, то для формирования сигнала запуска аналоговый сигнал должен начинаться с уровня выше 4.2 мВ/В. Условие срабатывания выполняется, когда измеряемый сигнал становится ниже 3.2 мВ/В, и перестает выполняться, когда он становится выше 4.2 мВ/В (рисунок 2-22).

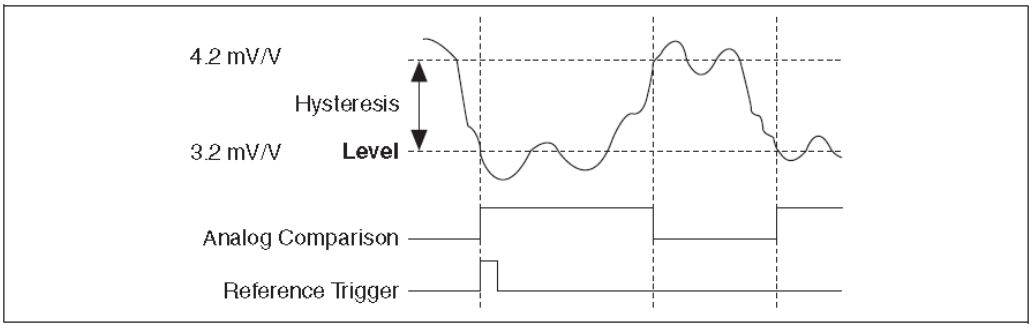

Рисунок 2-22. Аналоговый запуск по ниспадающему фронту с гистерезисом

Hysteresis — гистерезис

Запуск относительно окна

Запуск относительно окна осуществляется, когда аналоговый сигнал входит или выходит из окна, которое определяется заданием верхней и нижней границы окна. На рисунке 2-23 приведен пример запуска, где данные измеряются только тогда, когда сигнал попадает в окно. Можно также запрограммировать схему запуска на измерения при выходе измеряемого сигнала из окна.

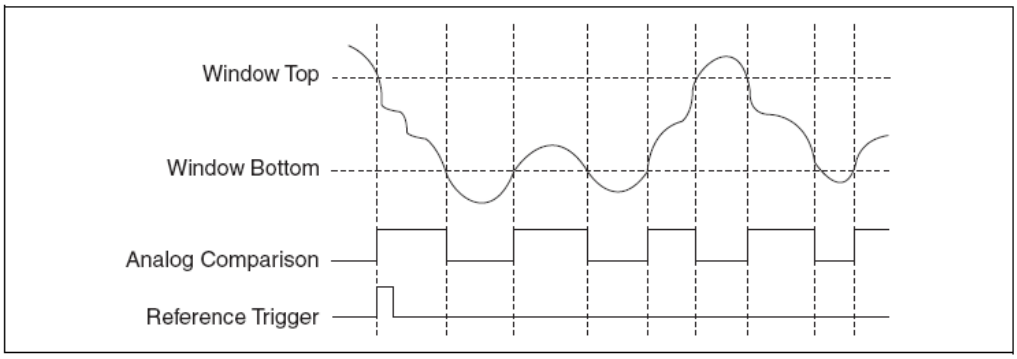

Рисунок 2-23. Запуск относительно окна

Window Top — верхняя граница окна, Window Bottom — нижняя граница окна

Запуск и задержка фильтра

Модуль PXIe-4330/4331 может использовать сигнал цифрового запуска с объединительной платы как в качестве сигнала начала измерений, так и в качестве опорного сигнала запуска в процессе измерений. Модуль PXIe-4330/4331 может также генерировать событие аналогового запуска из данных, оцифрованных АЦП. Из-за способа подстройки в модулях PXIe-4330/4331 групповой задержки, сигналы аналогового запуска можно использовать только в качестве опорных сигналов запуска.

Во всех случаях, модуль PXIe-4330/4331 воспринимает сигналы запуска при их появлении. Аппаратные средства автоматически компенсируют групповую задержку, вследствие чего данные, идущие от модуля, точно выровняются во времени при возникновении события запуска. Однако, групповая задержка сказывается на запаздывании получения данных после реализации события запуска. Например, после цифрового сигнала начала измерений, вы не сможете считывать данные первого отсчета до тех пор, по не истечет время групповой задержки фильтра. За более подробной информацией о зависимости групповой задержки и различных частот дискретизации, обратитесь к документу *NI PXIe-4330/4331 Specifications*.

Синхронизация нескольких модулей

В некоторых приложениях требуется жесткая синхронизация между операциями на входах и выходах нескольких модулей. Синхронизация необходима для минимизации рассогласования каналов или устранения дрейфа тактового сигнала между модулями в при работе в течение длительного времени. Вы можете синхронизировать операции аналогового ввода двух и более модулей PXIe-4330/4331, используемых для увеличения количества измерительных каналов. Кроме того, с помощью опорного сигнала синхронизации (Reference Clock Synchronization) модуль PXIe-4330/4331 может синхронизироваться с рядом других модулей динамического анализа сигналов (DSA-модулей), таких как NI PXIe-449x,.

Вы можете также синхронизировать модули, которые поддерживают внешнюю синхронизацию, с модулем PXIe-4330/4331, подав сигнал SampleClock с модуля PXIe-4330/4331 на внешнее устройство. Сигнал SampleClock меняет свое состояние каждый раз, когда PXIe-4330/4331 снимает очередной отсчет, а также переключается в момент времени, когда входной сигнал доступен на входных контактах АЦП. Это означает, что вы можете синхронизировать модуль PXIe-4330/4331 с любым другим модулем, который может запускать циклы измерений по сигналу SampleClock.

Синхронизация с помощью опорного генератора

При синхронизации от опорного генератора, ведущий и ведомый модули генерируют свои сигналы синхронизации АЦП с повышенной частотой дискретизации, используя общие импульсы опорной частоты 100 МГц с объединительной платы PXI Express (PXIe_CLK100). Эти импульсы опорной частоты с объединительной платы поступают на все периферийные слоты. Кроме того, несколько шасси могут быть синхронизированы с помощью платы тактирования и синхронизации, которая блокирует распространение сигнала 100 МГЦ по шасси.

Если измерения выполняются в нескольких модулях в одной и той же задаче DAQmx, драйвер DAQmx автоматически управляет всеми настройками синхронизации импульсами опорной частоты, требуемыми для синхронизации модулей в пределах одной задачи. Подобная задача называется задачей, реализуемой несколькими устройствами (Multi-Device Task).

Для синхронизации на аппаратном уровне нескольких задач DAQmx, выполняющих измерения с одной и той же частотой дискретизации, от генератора опорной частоты, выполните следующие действия:

Задайте сигнал PXIe_CLK100 в качестве опорного тактового сигнала для всех модулей, чтобы все модули тактировались импульсами опорной частоты шасси PXIe.

Выберите произвольный модуль PXIe-4330/4331 в качестве ведущего, который будет выдавать синхроимпульсы на одну из линий шины запуска PXIe. Эти импульсы сбрасывают АЦП и генераторы импульсов повышенной частоты, выравнивание фаз всех тактовых генераторов в системе будет произведено с точностью до наносекунд.

Сконфигурируете оставшиеся модули системы таким образом, чтобы они получали синхроимпульсы от ведущего модуля. Это гарантирует, что все АЦП работают синхронно.

Выберите модуль, который собираетесь использовать в качестве источника сигнала запуска измерений. Этот модуль не может быть тем же, что и модуль, выбранный на шаге 3.

Сконфигурируйте остальные модули с системы, чтобы они получали сигналы запуска измерений от модуля, который выдает сигнал запуска измерений.

Выберите тип синхронизации сигнала запуска (Start Trigger) **DAQmx Trigger»Advanced»Synchronization» Synchronization Type** для ведомых устройств и для ведущего устройства. Также сделайте запрос времени вхождения в синхронизм с помощью команды **DAQmx Timing»More» Synchronization Pulse»Synchronization Time** для всех синхронизируемых модулей, выберите из них наибольшее и установите его в качестве минимальной задержки начала измерений с помощью команды **DAQmx Timing»More»Synchronization Pulse»Minimum Delay To Start** на всех модулях.

Приостановите с помощью VI или функции DAQmxTaskControl все синхроимпульсы задач ведомых модулей. Это установит задачи в состояние ожидания синхроимпульса от ведущего модуля.

Приостановите с помощью VI или функции DAQmxTaskControl задачу синхронизации ведущего модуля. Это нужно для выдачи синхроимпульса.

Запустите все задачи начала измерений ведомых модулей, в результате чего они будут ожидать сигнала запуска измерений от ведущего устройства.

Запустите задачу начала измерений ведущего модуля. Теперь можно выполнять измерения.

Рассмотрим задачу, когда синхронизируется сбор данных несколькими устройствами с одной частотой дискретизации. Пример синхронизации при измерениях на различных частотах дискретизации, рассмотрен в VI Multi-Device Synch-Analog Input-Cont Acq-Multi Rate-PXIe-433x.

При синхронизации импульсами опорной частоты (Reference Clock) необходимо учитывать следующее:

Модуль PXIe-4330/4331 автоматически компенсирует групповую задержку фильтра. Однако, устройства некоторых других семейств не выполняют такую компенсацию. Возможно, в этом случае при синхронизации устройств разных семейств потребуется компенсировать групповую задержку в сигналах.

TEDS-датчики

Модуль PXIe-4330/4331 поддерживает связь с TEDS-датчиками — интеллектуальным датчиками с электронными таблицами (IEEE 1451.4 Класс 2). В состав этих датчиков входит встроенное ЭСППЗУ (EEPROM) самоидентификации, в котором записана таблица параметров и информация о датчике. Это позволяет измерительной системе автоматически определять и конфигурировать датчики.

Информация о датчике включает в себя калибровочные константы, значение чувствительности и сведения о производителе, которые можно получить в Measurement & Automation Explorer (MAX), с помощью VI в LabVIEW или путем вызова соответствующих функций в средах проектирования на основе текстовых языков программирования.

За более подробной информацией о TEDS-датчиках, поддерживающих технологию plug & play, обратитесь на сайт `ni.com/pnp`.

Программное конфигурирование TEDS-датчиков и работа с ними

Чтобы вручную сконфигурировать TEDS-датчик в MAX, щелкните правой кнопкой мыши по разделу PXIe-4330/4331 в дереве Configuration. Затем из всплывающего меню выберите команду **Configure TEDS**.

Чтобы сконфигурировать TEDS-датчик программным путем, вызовите VI DAQmx Configure TEDS.

Автоматическое обнаружение дополнительных компонентов

Модули типа SC Express автоматически обнаруживают совместимые дополнительные компоненты (аксессуары) или коннекторные блоки. Контакты RSVD разъема ввода-вывода используются для подключения питания на аксессуары, а также в качестве линий цифрового ввода-вывода. Это позволяет программному обеспечению определять момент, когда эти аксессуары подсоединяются или отсоединяются. Кроме того, программное обеспечение может автоматически идентифицировать коннекторный блок, а также получить доступ к любой информации касающейся калибровки и масштабирования, которая имеет отношение к этому коннекторному блоку.

Measurement & Automation Explorer (MAX) позволяет увидеть, какие аксессуары в настоящий момент подключены к модулю. Для этого зайдите в MAX, раскройте раздел **Devices and Interfaces** и найдите свой модуль. Если коннекторный блок подключен к модулю, он будет отображаться в разделе, относящемся к данному модулю. Рядом с несовместимыми коннекторными блоками, отображаемыми в MAX, выводится символ X.

Узлы свойств DAQmx можно использовать для получения программным способом информации о подключенных аксессуарах непосредственно в прикладной программе. Информация о программном доступе к информации о состоянии аксессуаров находится в справке *NI-DAQmx Help*, которая вызывается из меню Start командой **Start»All Programs»National Instruments»NI-DAQ»NI-DAQmx Help**.

3. Особенности модулей NI SC Express

В этой главе детально описаны функциональные возможности синхронизации и запуска, доступные в шасси PXI Express.

Сигналы синхронизации и запуска NI SC Express

PXIe_CLK100

PXIe_CLK100 — это стандартный опорный сигнал частотой 100 МГц с малыми искажениями, который применяется для синхронизации нескольких модулей в измерительной или управляющей системе на основе интерфейса PXI Express. Объединительная плата обеспечивает независимую генерацию этого сигнала для каждого периферийного слота в шасси PXI Express. Более подробная информация приведена в документе *PXI Express Specification* на сайте `www.pxisa.org`.

PXIe_SYNC100

PXIe_SYNC100 — это стандартный опорный сигнал частотой 10 МГц со скважностью 10% и малыми искажениями, который применяется для синхронизации нескольких модулей в измерительной или управляющей системе на основе интерфейса PXI Express. Объединительная плата обеспечивает независимую генерацию этого сигнала для каждого периферийного слота в шасси PXI Express. Более подробная информация приведена в документе *PXI Express Specification* на сайте `www.pxisa.org`.

PXI_CLK10

PXIe_CLK10 — это стандартный опорный сигнал частотой 10 МГц с малыми искажениями, который применяется для синхронизации нескольких модулей в измерительной или управляющей системе на основе интерфейса PXI Express. Объединительная плата обеспечивает независимую генерацию этого сигнала для каждого периферийного слота в шасси PXI.

Примечание: Сигнал PXIe_CLK10 нельзя использовать в качестве опорного тактового сигнала для модулей типа SC Express.

PXI Triggers

Шасси PXI предоставляет восемь шинных линий запуска для каждого модуля в системе. Сигналы запуска могут передаваться от одного модуля к другому, что позволяет точно реагировать на внешние контролируемые и

управляемые события. Эти сигналы могут быть использованы для синхронизации работы нескольких различных периферийных PXI модулей.

В модулях типа SC Express упомянутые сигналы запуска соответствуют линиям RTSI <0..7>. В PXI шасси, где более чем восемь слотов, линии запуска могут быть разделены на несколько независимых шин. За более подробной информацией обратитесь к документации на шасси.

PXI_STAR Trigger

В системе на основе интерфейса PXI Express шина Star Trigger реализует отдельные (радиальные) линии запуска между слотом синхронизации системы и другими периферийными слотами. Эта шина может быть использована для синхронизации нескольких модулей или распределения общего сигнала запуска между модулями.

Контроллер синхронизации системы может быть установлен в слот синхронизации системы, чтобы выдавать сигналы запуска на другие периферийные модули. В системах, где это не нужно, в слот синхронизации можно вставлять любой стандартный периферийный модуль.

Модуль типа SC Express получает сигнал запуска PXI_STAR по шине Star Trigger от контроллера синхронизации системы. Этот сигнал можно использовать в качестве сигнала запуска для операций ввода.

Модуль типа SC Express не является контроллером синхронизации системы. Такой модуль можно использовать, установив его в слот синхронизации PXI системы, однако при этом в системе нельзя воспользоваться возможностями запуска по шине Star Trigger.

PXIe_DSTAR < A..C >

Устройства с интерфейсом PXI Express способны обеспечить высококачественные и высокочастотные соединения типа «точка-точка» между каждым слотом и слотом синхронизации системы. Эти радиальные соединения представлены тремя низковольтными дифференциальными линиями запуска, которые связывают контроллер синхронизации системы и периферийное устройство. Использование нескольких соединений облегчает создание приложения, благодаря большему количеству возможных маршрутов передачи сигналов.

В таблице 3-1 приведено описание и применение трех дифференциальных линий запуска (DSTAR).

Таблица 3-1. Описание линий PXIe_DSTAR

Обозначение линии	Назначение
PXIe_DSTARA	Распределяет высокоскоростные высококачественные тактовые сигналы со слота синхронизации системы на периферийные устройства (ввод).
PXIe_DSTARB	Распределяет высокоскоростные высококачественные сигналы запуска со слота синхронизации системы на периферийные устройства (ввод).
PXIe_DSTARC	Направляет высокоскоростные высококачественные тактовые сигналы с периферийных устройств на слот синхронизации системы (вывод).

Линии DSTAR доступны только для устройств с интерфейсом PXI Express при использовании модуля синхронизации системы. За более подробной информацией обратитесь к документу *PXI Express Specification* на сайте `www.pxisa.org`.

Trigger Filters

Вы можете для каждого из сигналов PXI_Trig, PXIe_DSTAR и PXI_STAR включить программируемый противодребезговый фильтр. Когда такие фильтры включены, модуль берет отсчеты входного сигнала по каждому нарастающему фронту тактового сигнала фильтра. Этот тактовый сигнал генерируется с помощью встроенного генератора.

Ниже на примере показано, каким образом фильтр работает при переходах входного сигнала с низкого уровня на высокий. При переходах с высокого уровня на низкий фильтр работает аналогично.

Предположим, что входной сигнал долгое время имел низкий уровень, а затем он переходит в высокий уровень, но с кратковременными выбросами, меняя свое состояние несколько раз. Только после того, как для N последовательных фронтов сигнала синхронизации фильтра входной сигнал сохранил высокий уровень, переход от низкого уровня к высокому распространяется на оставшуюся часть схемы. Значение N зависит от времени установления фильтра (таблица 3-2).

Таблица 3-2. Противодребезговые фильтры

Время установления	Тактовая частота	N (Количество тактовых импульсов фильтра, необходимое для прохождения сигнала	Минимальная длительность импульса, который обязательно пройдет через фильтр	Максимальная длительность импульса, который гарантированно не пройдет через фильтр
Отключен	—	—	—	—
90 нс (малое)	100 МГц	9	90 нс	80 нс
5.12 мкс (среднее)	100 МГц	512	5.12 мкс	5.11 мкс
2.56 мс (большое)	100 кГц	256	2.56 мс	2.55 мс
Настраивается пользователем	Настраивается пользователем	N	N/T*	(N – 2)/T*
*T — период тактовых импульсов				

Время установления фильтра для каждого входа можно задавать независимо. При включении питания фильтры отключены.

Включение фильтров приводит к джиттеру входного сигнала, который не превышает одного периода тактовых импульсов.

Эти фильтры не пропускают никакие импульсы короче заданного времени установления. Если, например, задано время установления 5.12 мкс, фильтр не пропустит ни одного импульса короче 5.12 мкс. Фильтры запуска полезны для предотвращения ложных срабатываний, если сигнал запуска зашумлен или искажен.

A. Компенсация смещения (Балансировка моста)

После монтажа мостового датчика напряжение на его выходе при отсутствии нагрузки, скорее всего, не будет точно равным 0 В. Из-за небольших колебаний сопротивлений плеч имеет место некоторое начальное напряжение смещения. С помощью VI/функции DAQmx Perform Bridge Offset Nulling Calibration или утилиты DAQ Assistant определяется этот начальный небаланс моста, который применяется для программной компенсации.

Чтобы скорректировать нуль, драйвер DAQmx измерит напряжение на выходе ненагруженного моста, а затем использует результат этого измерения в качестве начального напряжения, которое будет учитываться при масштабировании. Такой метод отличается простотой, высоким быстродействием и не требует никаких ручных настроек. Недостатком программной компенсации (по сравнению с аппаратной) является то, что она не устраняет смещение физически. Если смещение достаточно большое, то оно накладывает ограничения на коэффициент усиления усилителя, которые можно подключить к выходу моста. Следовательно, это приведет к ограничению динамического диапазона измеряемого сигнала. Внутри модуля PXIe-4330/4331 отсутствует аппаратные схемы компенсации нуля, однако диапазон входных сигналов является достаточно широким, чтобы входы не насыщались даже при относительно большом начальном смещении.

B. Техническая поддержка и помощь специалиста

Чтобы получить техническую поддержку и помощь специалиста, посетите следующие разделы отмеченного наградами сайта компании National Instruments `ni.com`:

Техническая поддержка (`ni.com/support`) — включает в себя следующие ресурсы:

- **Self-Help Technical Resources** — полезен для поиска ответов на вопросы и готовых решений. Содержит программные драйверы и обновления, поисковую базу знаний, руководства по эксплуатации изделий, мастера пошаговой диагностики, тысячи примеров программ, учебные пособия, краткие сведения о приложениях, драйверы измерительных приборов и т.д. Зарегистрированные пользователи также получают доступ к форумам в разделе NI Discussion Forums (`ni.com/forums`). Специалисты компании National Instruments гарантируют, что на любой заданный онлайн вопрос будет дан ответ.
- **Standard Service Program Membership** — программа, которая дает право ее участникам на прямой телефонный звонок техническим специалистам компании National Instruments и на запрос по электронной почте на индивидуальную техническую поддержку, а также эксклюзивный доступ к интерактивным обучающим модулям через раздел Services Resource Center. Компания NI предоставляет членство в этой программе в течение полного года после приобретения продукции NI. Далее вы можете возобновить участие, чтобы сохранить свои льготы.

  За информацией об особенностях технической поддержки в вашем регионе обратитесь к разделу ni.com/services или свяжитесь с офисом вашего региона, для чего перейдите в раздел `ni.com/contact`.

Training and Certification (`ni.com/training`) — ресурсы для пошагового самостоятельного обучения, виртуальные аудитории для электронного обучения (eLearning), интерактивные CD-диски и информация по программе сертификации. Вы можете также записаться на практические курсы, которые изучаются под руководством преподавателя, в представительствах NI по всему миру.

System Integration — Если вы ограничены во времени, располагаете недостаточными техническими ресурсами, или столкнулись с иными проблемами, члены партнерства National Instruments Alliance Partner могут прийти на помощь. Чтобы узнать об этом подробнее, позвоните в местное представительство NI или посетите раздел сайта `ni.com/alliance`.

Declaration of Conformity (DoC) — декларация о соответствии — наше заявление о соответствии требованиям государств Совета Европы на основании декларации о соответствии от производителя. Такая система гарантирует пользователю соответствие требованиям электромагнитной

совместимости (ЭМС) и безопасности продукции. Вы можете получить декларацию о соответствии на приобретенное изделие. Эта система обеспечивает защиту пользователя от электромагнитных воздействий и безопасность продукции. Если вы хотите получить декларацию о соответствии, зайдите в раздел `ni.com/certification`.

Calibration Certificate — если в вашем изделии есть функции калибровки, вы можете получить сертификат о калибровке на сайте `ni.com/calibration`.

Если на сайте `ni.com` вы не можете найти ответы на нужные вопросы, свяжитесь с локальным офисом или штаб-квартирой NI. Телефонные номера по всем офисам приведены в начале настоящего руководства. Вы можете также посетить раздел Worldwide Offices (`ni.com/global`), чтобы получить доступ к сайтам региональных офисов, которые предоставляют самую свежую контактную информацию, номера телефонов технической поддержки, адреса электронной почты и новости.