



www.keithley.com

Калибраторы-измерители напряжения и силы тока Keithley 2460 Руководство по эксплуатации



KEITHLEY

A Tektronix Company

A GREATER MEASURE OF CONFIDENCE
Keithley Instruments, Inc.

Corporate Headquarters • 28775 Aurora Road • Cleveland, Ohio 44139
440-248-0400 • Fax: 440-248-6168 • 1-888-KEITHLEY (1-888-534-8453) • www.keithley.com

Приведенные ниже меры безопасности необходимо соблюдать при использовании данного изделия или какого-либо сопутствующего оборудования. Несмотря на то, что некоторые приборы и принадлежности при нормальных условиях эксплуатируются с использованием неопасных напряжений, возможны ситуации, в которых их эксплуатация может представлять опасность.

Данное изделие предназначено для использования квалифицированными специалистами, которые осведомлены об опасности получения удара током и обучены правилам техники безопасности, позволяющим избежать получения травм. Перед началом использования изделия внимательно изучите всю информацию по установке, эксплуатации и техническому обслуживанию. Технические характеристики изделия в полном объеме приведены в руководстве пользователя.

Использование изделия не по назначению может стать причиной снижения качества защиты, гарантируемой производителем.

Различаются следующие группы пользователей изделия:

Ответственное лицо – это лицо или группа лиц, ответственных за использование и обслуживание оборудования, обеспечение работы оборудования в рамках его технических возможностей и соблюдение эксплуатационных ограничений, а также обеспечение должного уровня подготовки операторов.

Операторы – лица, использующие данное изделие по его назначению. Операторы должны пройти обучение правилам электрической безопасности и эксплуатации данного прибора. Необходимо обеспечить защиту операторов от получения ударов током и контакта с цепями под напряжением.

Технический персонал выполняет регламентные процедуры для обеспечения функционирования изделия на должном уровне, например, настройку сетевого напряжения или замену расходных материалов. Процедуры технического обслуживания приведены в эксплуатационной документации. В описании процедур явным образом указывается, допускается ли их выполнение оператором. В противном случае они должны выполняться только силами обслуживающего персонала.

Обслуживающий персонал проходит подготовку для работы с цепями под напряжением, выполнения безопасных подключения и ремонта изделий. К выполнению процедур по установке и обслуживанию допускаются только специалисты, успешно прошедшие необходимую подготовку.

Изделия компании Keithley Instruments разработаны для использования с электрическими сигналами, используемыми для измерения, управления и ввода/вывода данных, с низким уровнем переходного напряжения, и не могут быть напрямую подключены к источнику сетевого напряжения или к источникам напряжения с высокими переходными перенапряжениями. Подключения категории II (как указано в IEC 60664) требуют наличия защиты от высоких переходных перенапряжений, часто имеющих место при подключении к местной сети переменного питания. Некоторые измерительные приборы Keithley допускают подключение к сети. Данные приборы имеют маркировку категории II и выше.

Подключение приборов к сети допускается только при условии, что такая возможность указана явным образом в спецификациях, эксплуатационной документации и на маркировке прибора.

В случае опасности поражения электрическим током необходимо соблюдать чрезвычайную осторожность. На гнездовых разъемах кабелей или испытательных приспособлений возможно присутствие опасного для жизни напряжения. Согласно классификации Американского национального института стандартов опасность поражения электрическим током существует при работе с напряжениями выше 30 В (среднеквадратичное значение), 42 В (пиковое) или 60 В постоянного тока. Рекомендуется считать, что опасное напряжение присутствует в любой неизвестной сети до выполнения измерения.

Необходимо обеспечить постоянную защиту операторов от возможности получения удара электрическим током. Ответственные лица обязаны следить за тем, чтобы операторы не имели доступа и/или были изолированы от всех точек подключения. В некоторых случаях подключения должны находиться в прямом доступе. При таких обстоятельствах необходимо обучить операторов правилам защиты от возможного получения удара электрическим током. Если в цепи возможно присутствие напряжения 1000 В или выше, то никакие проводящие части подобной цепи не могут находиться в прямом доступе.

Запрещается подключать коммутационные платы непосредственно к цепям, в которых присутствует неограниченная мощность. Они предназначены для использования с источниками с ограниченным сопротивлением. ЗАПРЕЩАЕТСЯ подключать коммутационные платы непосредственно к сети переменного тока. Подключение источников к коммутационным платам необходимо проводить с установкой защитных устройств для ограничения поступления тока КЗ и напряжения к плате.

Перед началом работы с прибором убедитесь, что сетевой шнур подключен к должным образом заземленной розетке. Перед каждой сменой работы с прибором следует проводить осмотр соединительных кабелей, тестовых выводов, перемычек на наличие износа, трещин или разрывов.

В случае установки оборудования с ограниченным доступом к шнуру сетевого питания, например, в стойки, необходимо обеспечить наличие отдельного устройства для отключения питания вблизи оборудования и в легкодоступном месте для оператора.

Для обеспечения максимального уровня безопасности запрещается прикасаться к изделию, тестовым кабелям или иным компонентам при наличии питающего напряжения в тестируемой цепи. ВСЕГДА снимайте напряжение со всей тестовой системы и разряжайте конденсаторы перед подключением или отключением кабелей или перемычек, установкой или снятием коммутационных плат или выполнением внутренних изменений, например, установкой или снятием перемычек.

Не прикасайтесь к каким-либо объектам, которые соединены по току с общей стороной тестируемой цепи или заземлением питающей сети. Выполняйте измерения только сухими руками и на сухой, заизолированной поверхности, способной выдержать измеряемое напряжение.


Прибор и принадлежности должны использоваться только в соответствии с их спецификациями и эксплуатационными инструкциями. В противном случае возможно снижение степени безопасности эксплуатации оборудования.


Запрещается превышать максимальные значения уровня сигнала, допустимые для данных приборов и принадлежностей, как указано в спецификациях и руководствах по эксплуатации, а также отмечено маркировкой на корпусе прибора или тестовых приспособлениях или коммутационных платах.


При наличии предохранителей их замену следует осуществлять на предохранители того же типа и номинала, чтобы избежать возможности возгорания.

Подключения к корпусу разрешается использовать только в качестве экранирования для измерительных цепей, а не в качестве заземления.


При использовании испытательного стенда необходимо держать крышку закрытой во время подачи мощности на тестируемое устройство. Для обеспечения безопасной эксплуатации требуется использование блокировочного устройства.


При наличии винта, обозначенного знаком , необходимо подключить его к системе заземления, следуя рекомендациям в эксплуатационной документации.

Символ  на приборе указывает на необходимость внимательного обращения в связи с возможной опасностью. Пользователю следует обращаться к эксплуатационной документации во всех случаях использования данного символа на приборе.

Символ  на приборе указывает на необходимость внимательного обращения в связи с возможностью получения удара электрическим током. Соблюдайте стандартные правила техники безопасности, чтобы избежать контакта с участками, где присутствуют данные опасные напряжения.

Символ  на приборе указывает на возможность повышения температуры отмеченного участка. Не прикасайтесь к подобным участкам во избежание ожогов.

Символ  используется для маркировки клеммы для подключения к корпусу оборудования.

Символ  на изделии обозначает, что при производстве экрана использовалась ртуть. Обратите внимание, что утилизация подобных экранов должна проводиться в соответствии с федеральными, областными и местными нормами.

Заголовок **ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ** в эксплуатационной документации предваряет описание опасностей, которые могут привести к травме или смерти. Всегда внимательно изучайте подобную информацию перед выполнением соответствующей процедуры.

Заголовок **ОСТОРОЖНО** в эксплуатационной документации предваряет описание опасностей, которые могут привести к повреждению прибора. Подобные повреждения могут аннулировать гарантийные обязательства производителя.

Запрещается подключать приборы и принадлежности к человеку.

Перед выполнением любых действий по техническому обслуживанию необходимо отключить сетевой шнур и все тестовые кабели.

Для поддержания должного уровня защиты от удара электрическим током и возгорания все заменяемые детали в токовых цепях, включая трансформаторы мощности, тестовые выводы и входные разъемы, должны приобретаться в компании Keithley Instruments. Стандартные предохранители, одобренные соответствующими национальными органами сертификации, могут использоваться при условии совпадения номинала и типа. Другие компоненты, не влияющие на качество защиты, могут приобретаться у других поставщиков при условии, что они эквивалентные оригинальным компонентам (обратите внимание, что некоторые запчасти рекомендуется приобретать только в компании Keithley Instruments для поддержания точности и правильного функционирования прибора). Если вы не уверены в возможности использования заменяемой детали, обратитесь за информацией в представительство компании Keithley Instruments.

Очистку прибора следует проводить влажной тканью или мягким чистящим средством на основе воды. Очистку проводить только для внешних частей прибора. Не наносите чистящее средство непосредственно на прибор и не допускайте попадания жидкости внутрь прибора или нахождения жидкости на поверхности прибора. Изделиям, состоящим из печатной платы и не имеющим корпуса (например, плата сбора данных для установки в компьютер), очистка не требуется, если они эксплуатируются в соответствии с инструкциями. В случае загрязнения платы и ухудшения ее производительности плату следует вернуть на завод-изготовитель для проведения необходимой очистки/обслуживания.

Меры безопасности указаны в редакции от января 2013г.

Содержание раздела:

Приветствие	1-1
Введение в данное руководство	1-1
Расширенная гарантия	1-2
Контактная информация	1-2
Информация на компакт-дисках	1-2
Структура разделов руководства	1-3
Применение	1-3

Приветствие

Компания Keithley Instruments благодарит вас за выбор ее изделия. Измерительный прибор 2460 High-Current Interactive SourceMeter®, модель 2460 – это точный прибор с низким уровнем шума, совмещающий в себе стабильный источник постоянного тока, настоящий источник сильного тока, электронную нагрузку и высокоомный мультиметр. У прибора интуитивно понятная настройка и управление, улучшенное качество и диапазон сигналов, а также лучшие, чем у доступных на рынке приборов, показатели удельного и активного сопротивления.

Модель 2460 обеспечивает вывод тока до 7 А и позволяет работать на пределах 1 А, 4 А, 5 А и 7 А. При основной погрешности 0,012% на 6½-разрядном разрешении модель 2460 является прекрасным решением для тестирования разнообразных материалов и устройств, таких как полупроводниковые устройства, солнечные элементы, светодиоды с повышенной яркостью, преобразователи мощности, оборудование в электрохимической области, аккумуляторы и т.д.

Введение в данное руководство

В этом руководстве даны подробные инструкции, которые помогут вам в работе с моделью 2460 Keithley Instruments. Кроме того, руководство содержит описание основных органов управления на передней панели для знакомства с прибором.

В руководстве демонстрируются варианты использования прибора с общим описанием и подробными инструкциями для выполнения рассматриваемого измерения с помощью органов управления на передней панели, SCPI-кода, TSP-кода или ПО Keithley KickStart Stratup (в соответствии с выбранным вариантом; для решения некоторых задач можно использовать несколько способов).

Подробное описание используемых команд содержится в справочном разделе по командам SCPI и TSP в документе «Model 2460 Reference Manual». Это руководство находится на компакт-диске, поставляемом вместе с прибором.

Расширенная гарантия

Для многих изделий компания Keithley Instruments предлагает продление гарантийного срока. Эта возможность позволит вам избежать непредусмотренных расходов на обслуживание и продлит действие гарантийных обязательств, при этом стоимость подобной услуги будет в разы меньше стоимости возможного ремонта. Продление гарантийного срока предлагается как для новых, так и уже работающих изделий. За дополнительной информацией обращайтесь в ближайшее представительство компании Keithley Instruments.

Контактная информация

Вы можете получить дополнительную информацию и ответы на вопросы в ближайшем представительстве компании Keithley Instruments или в головном офисе Keithley Instruments по телефону 1-800-93505595 для звонков из США и Канады (бесплатная линия) или по телефону +1-440-248-0400 для звонков из других стран. Контактные телефоны представительств в других странах см. на сайте компании Keithley Instruments (<http://www.keithley.com>).

По вопросам технического обслуживания и поверки в Российской Федерации обращайтесь в сервисный центр АКТИ-Мастер (телефон +7-495-926-7185, сайт www.actimaster.ru)

Информация на компакт-дисках

В комплект поставки каждого прибора модели 2460 входят компакт-диски:

- Компакт-диск с информацией о продукте Interactive SourceMeter® SMU Instruments (шифр компонента Keithley Instruments 24GDI-950-01)

На компакт-диске с информацией о продукте The Model 2460 Interactive SourceMeter SMU Instruments Product Information содержится:

- **Краткое руководство пользователя (Quick Start Guide)** содержит указания по распаковке, описывает основные соединения, дает обзор основных операций и содержит указания о быстрой проверке, позволяющей удостовериться в работоспособности прибора.
- **Руководство пользователя (User's Manual)** содержит примеры работы с прибором, которые могут стать основой для создания ваших собственных вариантов использования прибора.
- **Справочное руководство (Reference Manual)** включает вопросы продвинутого использования, информацию об обслуживании, способы решения проблем, стратегии оптимизации и подробные описания команд для программирования.
- **Краткое руководство по быстрой установке ПО (KickStart Software Quick Start Guide)** содержит указания, как быстро произвести измерения и получить результаты без программирования проверочного сценария.
- **Информация о принадлежностях (Accessories information):** информация о предлагаемых для модели 2460 принадлежностях.

Новейшие драйверы и дополнительная информация о поддержке находятся на [веб-сайте Keithley Instruments](http://www.keithley.com) (<http://www.keithley.com>).

Структура разделов руководства

Данное руководство содержит следующие разделы:

- Использование интерфейса передней панели (см. стр. 2-1): описание основ использования интерфейса передней панели.
- Использование интерфейса удаленного управления (см. стр. 3-1): описание основ удаленного взаимодействия и использования веб-интерфейса прибора.
- Варианты использования (см. ниже): подробные примеры применения модели 2460 для решения некоторых типовых задач.

В PDF-версии есть закладки для каждого раздела. Кроме этого, список разделов есть в оглавлении, которое находится в начале данного руководства.

Дополнительные сведения о закладках см. в справке программ Adobe® Acrobat® или Reader®.

Применение

В данном руководстве даны примеры использования, демонстрирующие процедуры выполнения проверок с помощью органов управления на передней панели и в дистанционном режиме. Эти примеры приводятся после сводных данных о модели 2460 и включают следующие варианты использования:

- Проведение основных измерений с передней панели (см. стр. 4-1): демонстрация основных измерений, проводимых с использованием модели 2460 и двухполюсного проверяемого устройства.
- Измерение низкоомных устройств (см. стр. 5-1): описание процедуры низкоомных измерений на резисторе 20 мОм.
- Измерения аккумуляторной батареи (см. стр.6-1): демонстрация процедуры автоматизированной проверки цикла заряда-разряда аккумуляторной батареи с помощью одного блока модели 2460.
- Вольтамперная развертка для светодиода с помощью ПО KickStart (см. стр. **Ошибка! Закладка не определена.**): демонстрация использования модели 2460 для тестирования светодиодов повышенной яркости с помощью ПО Keithley KickStart Startup.
- Измерение вольтамперной характеристики солнечной батареи (см. стр.8-1): демонстрация использования развертки напряжения и тока (I-V) для характеристики солнечной батареи с помощью модели 2460.
- Генерация группы сильноточных импульсов (см. стр. 9-1): демонстрация использования модели 2460 для генерации группы сильноточных импульсов с помощью команд Test Script Processor (TSP®) и модели запуска модели 2460.

Использование интерфейса передней панели

Содержание раздела:

Обзор передней панели	2-1
Включение и выключение прибора	2-3
Включение и выключение вывода сигнала моделью 2460	2-4
Использование интерфейса сенсорного экрана	2-5
Запись измерений на USB флеш-накопитель	2-7
Запись снимков экрана на USB флеш-накопитель	2-8












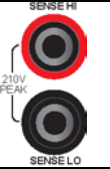
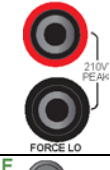


Обзор передней панели

Передняя панель модели 2460 показана на рисунке ниже. После рисунка приводится описание органов управления, находящихся на передней панели.

Рис 1: Передняя панель модели 2460



Выключатель POWER		Включает или выключает прибор. Для включения прибора нажмите на выключатель, чтобы он перешел в положение (I). Для выключения нажмите на выключатель, чтобы он перешел в положение (O).
Клавиша HOME		Возвращает прибор к отображению домашнего экрана.
Клавиша MENU		Открывает главное меню. Нажмите пиктограммы в основном меню, чтобы открыть экраны источников, измерений, видов, запускающих сигналов, сценариев и системы.
Клавиша QUICKSET		Открывает меню предварительно настроенных конфигураций, включая вольтметр, амперметр, омметр и конфигурации источников питания. Также позволяет выбирать режимы измерения и подстраивать характеристики для обеспечения лучшего разрешения или скорости.
Клавиша HELP		Открывает справку об области или объекте, которые выбраны на экране. Если при нажатии клавиши HELP не были выбраны область или объект, то отображается обзорная информация об отображаемом экране.

Порт USB		Вы можете сохранить буферные данные и сценарии на флеш-накопителе USB. Флеш-накопитель должен быть отформатирован в FAT.
Сенсорный экран		Модель 2460 имеет цветной сенсорный экран с размером 5 дюймов, используемый для перехода к дополнительным экранам и позициям меню. Для перехода к дополнительным интерактивным экранам нажмите на передней панели клавиши MENU , QUICKSET и FUNCTIONS .
Поворотная кнопка		Поворот: перемещает указатель влево или вправо для выделения значения в списке или пункта меню, которое требуется выбрать. Если указатель находится в поле ввода, то поворот кнопки увеличивает или уменьшает величину в поле. Нажатие: выбирает отмеченный пункт или переходит к редактированию выбранного поля.
Клавиша ENTER		Выбирает отмеченный пункт или переходит к редактированию выбранного поля.
Клавиша EXIT		Возвращает на предыдущий экран или закрывает диалоговое окно. Например, если отображается главное меню, то нажатие ENTER вернет на домашний экран. При просмотре экрана нижнего уровня (например, экрана событий) нажатие клавиши EXIT вернет на экран главного меню.
Клавиша FUNCTIONS		Отображает функции воспроизведения сигнала и измерения. Для выбора функции коснитесь ее названия на сенсорном экране.
Клавиша TRIGGER		Доступ к настройкам и операциям, относящимся к запускающим сигналам. Действие клавиши TRIGGER зависит от состояния, в котором находится прибор.
Выключатель OUTPUT ON/OFF		Включает или выключает вывод сигнала. Клавиша подсвечивается, если вывод сигнала включен.
Светодиодный индикатор REMOTE	REMOTE 	Светится, когда прибор управляется посредством удаленного интерфейса.
Светодиодный индикатор LAN	LAN 	Светится, когда прибор подключен к локальной сети (LAN).
Светодиодный индикатор 1588	1588 	Светится, когда прибор подключен к совместимому с IEEE-1588 устройству. Обратите внимание, что функциональность 1588 в настоящее время не поддерживается. Эта функциональность станет доступна с обновлением прошивки. Дополнительные сведения см. в примечаниях к версии модели 2460 -- Model 2460 Release Notes на вебсайте Keithley Instruments (http://www.keithley.com) .
Светодиодный индикатор INTERLOCK	INTERLOCK 	Светится при включенной блокировке.
Клеммы SENSE		Подключение к клеммам SENSE HI и SENSE LO используется для измерения напряжения на проверяемом устройстве. При использовании выводов SENSE исключается измерение падения напряжения на питающих выводах. Так обеспечивается более точный вывод напряжения и измерение проверяемого устройства.
Клеммы FORCE		Используйте клеммы FORCE HI и FORCE LO для передачи напряжения или тока в режиме источника или потребителя на тестируемое устройство или обратно.
Переключатель FRONT/REAR TERMINALS		Включает клеммы на передней или задней панели. Когда включены клеммы на передней панели, то видна зеленая «F» слева от переключателя. Когда включены клеммы на задней панели, то видна желтая «R» слева от переключателя.
Приборная колодка (корпус)		Однополюсное гнездо для вилки с пружинящими боковыми накладками («банан») для подключения к корпусу прибора.

Включение и выключение прибора

Для подключения модели 2460 к сети электропитания и включения/выключения прибора выполните операции, описанные ниже. Модель 2460 работает от сети с напряжением от 100 В до 240 В и частотой 50 или 60 Гц. Прибор автоматически переключается на подаваемое напряжение. Убедитесь, что напряжение в вашей электросети подходит для питания прибора.

Необходимо включить модель 2460 и дать ей прогреться в течение, по крайней мере, одного часа, чтобы прибор вышел на заявленную точность.

⚠ ВНИМАНИЕ

Работа с прибором при неправильном сетевом напряжении может повредить прибор, возможно, с потерей гарантии.

⚠ ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ

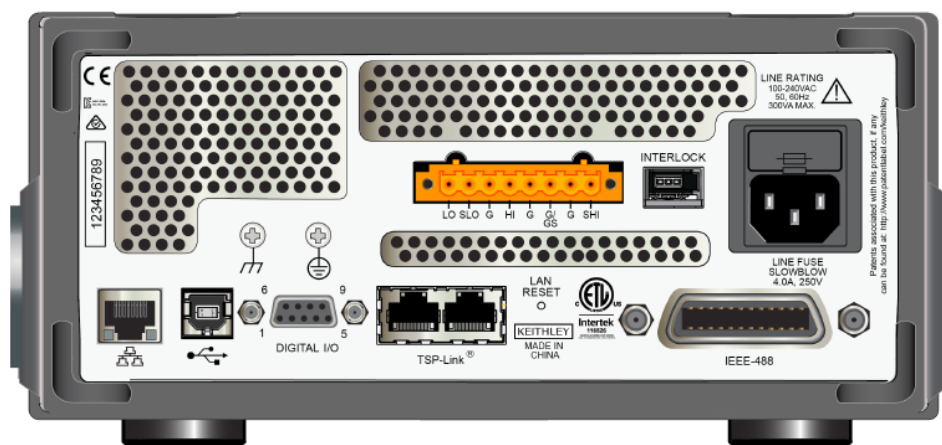
Поставляемый с моделью 2460 шнур питания имеет отдельную защитную жилу для заземления (защитное заземление), используемую в розетках с заземлением. Если подключение выполнено правильно, то корпус прибора соединен с землей сети электропитания через заземляющую жилу в шнуре питания. Кроме того, предусмотрено резервное защитное заземление через винт на задней панели прибора. Эту клемму следует подключать к достоверно исправному защитному заземлению. Пренебрежение защитным заземлением и заземленной розеткой может в случае возникновения неисправностей нанести вред здоровью или привести к смерти от поражения электрическим током.

Не заменяйте отсоединяемые шнуры электропитания на недостаточно качественные шнуры. Использование шнуров низкого качества может нанести вред здоровью или привести к смерти от поражения электрическим током.

Для подключения шнура питания:

1. Убедитесь, что выключатель POWER на передней панели находится в выключенном положении (O).
2. Подключите розетку на поставляемом шнуре питания к ответной розеточной части на задней панели.
3. Подключите другой конец шнура питания к заземленной розетке переменного тока.

Рисунок 2: Задняя панель модели 2460



Для включения или выключения модели 2460:

1. Перед включением прибора отключите от него все проверяемые устройства.
2. Для включения прибора нажмите выключатель **POWER** на передней панели для его перевода в положение (I). Прибор во время включения отображает строку состояния. По окончании включения отображается домашний экран.
3. Для выключения прибора нажмите выключатель **POWER** на передней панели для его перевода в положение (O).

Включение и выключение вывода сигнала моделью 2460

Включение вывода сигнала осуществляется с передней панели или посредством отправки удаленных команд.

ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ

Выключение вывода сигнала на модели 2460 не переводит прибор в безопасное состояние (для этого действия предназначена блокировка).

На всех выходных клеммах и клеммах защиты может присутствовать опасное напряжение. Чтобы избежать поражения электрическим током, которое может нанести вред здоровью или привести к смерти, никогда не производите подключения или отключения устройств, если на прибор подается питание. Отключайте оборудование с передней панели или отсоединяйте шнур питания на задней панели модели 2460 перед работой с проводами. Перевод оборудования в состояние с отключенным выводом не гарантирует, что выходные разъемы будут обесточены в случае аппаратных или программных неисправностей.

Когда источник прибора выключен, существует вероятность, что прибор не будет полностью изолирован от внешней цепи. Можно воспользоваться настройками выключения выхода (Output-Off State) для того, чтобы перевести модель 2460 в известное, не интерактивное состояние на время простоя, например, при смене проверяемого устройства. Пользователь может выбрать один из следующих режимов состояния отключенного вывода: нормальный, высокоомный, нулевой и защитный.

Подробнее см. в разделе «Режимы отключенного вывода» в «Справочном руководстве к модели 2460» (*Model 2460 Reference Manual*).

Используя переднюю панель:

Нажмите выключатель **OUTPUT ON/OFF**. Прибор выводит мощность, когда переключатель подсвечивается. Прибор находится в состоянии с отключенным выводом, когда переключатель не подсвечивается.

Используя команды SCPI:

Для включения вывода пошлите команду:

```
:OUTPut:STATe ON
```

Для выключения вывода пошлите команду:

```
:OUTPut:STATe OFF
```

Используя команды TSP:

Для включения вывода пошлите команду:

```
smu.source.output = smu.ON
```

Для выключения вывода пошлите команду:

```
smu.source.output = smu.OFF
```

Использование интерфейса сенсорного экрана

Сенсорный экран позволяет быстро перейти к настройкам воспроизведения и измерения, системным настройкам, состоянию измерения и теста, информации о буфере показаний и другим выполняемым прибором функциям. Модель 2460 также имеет экраны, для доступа к которым нужно провести пальцем по экрану прибора. Перейти к дополнительным интерактивным экранам можно нажатием на клавиши MENU, QUICKSET и FUNCTION на передней панели.

⚠ ВНИМАНИЕ

Не касайтесь экрана острыми металлическими предметами, такими как пинцеты или отвертки, или остроконечными предметами, такими как ручки или карандаши. Настоятельно советуем использовать для управления прибором только пальцы. Прибор поддерживает управление сенсорным экраном в перчатках для чистых помещений.

Выбор объектов на сенсорном экране

Для выбора объекта на отображаемом экране выполните одно из следующих действий:

- Коснитесь его пальцем
- Поверните поворотную кнопку, чтобы выделить нужный объект, а затем нажмите на поворотную кнопку, чтобы выбрать этот объект.

В следующих разделах содержится более подробное описание модели 2460.

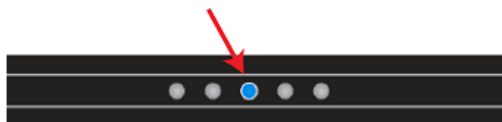
Интерактивные дополнительные экраны

С помощью сенсорного дисплея модели 2460 можно перейти к нескольким дополнительным экранам, если мягко провести пальцем по нижней половине экрана слева направо или справа налево. Ниже описан каждый из этих экранов.

Индикатор дополнительных экранов показывает, какой из экранов выбран. Индикатор располагается между верхней и нижней половинами экрана, каждый кружок индикатора обозначает дополнительный экран. При пролистывании вправо или влево изменяется цвет следующего кружка, указывая тем самым, какой экран отображается в данный момент. Положение индикатора по умолчанию при включении экрана – на центральном кружке (экран Home).

Рисунок 3: Индикатор номера дополнительного экрана

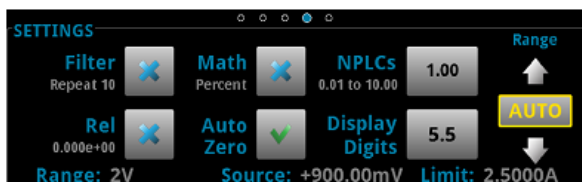
Активный дополнительный экран



Дополнительный экран SETTINGS

Экран SETTINGS позволяет с передней панели перейти к некоторым из настроек прибора. Он позволяет быстро их изменять, разрешать или запрещать. На нем также показаны текущие настройки.

Рисунок 4: Дополнительный экран SETTINGS модели 2460



Чтобы запретить или разрешить какой-либо параметр, выберите прямоугольное поле рядом с этим параметром, чтобы оно содержало X (запретить) или галочку (разрешить).

Дополнительный экран STATISTICS

На экран STATISTICS выводятся сведения о состоянии активного буфера и показаний в нем. С помощью кнопки **Clear Stats** на этом экране можно сбросить данные, используемые для статистических расчетов.

Рисунок 5: Дополнительный экран STATISTICS модели 2460

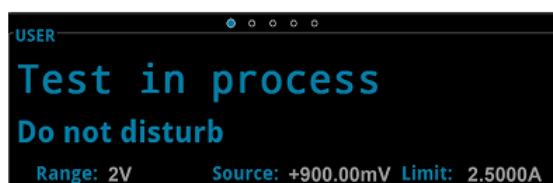


Дополнительный экран USER

Вы можете запрограммировать свой собственный текст, который будет отображаться на дополнительном экране USER. Например, можно запрограммировать модель 2460 так, чтобы на экране отображалось сообщение о том, что в данный момент идет выполнение теста.

Для настройки отображаемого на дополнительном экране USER пользовательского текста используйте команды TSP или SCPI в режиме удаленного интерфейса. См. «Справочное руководство к модели 2460» (*Model 2460 Reference Manual*).

Рисунок 6: Пользовательский текст на дополнительном экране USER модели 2460



Дополнительный экран TREND

На дополнительном экране TREND показано графическое представление показаний из выбранного в данный момент буфера.

Рисунок 7: Дополнительный экран TREND модели 2460



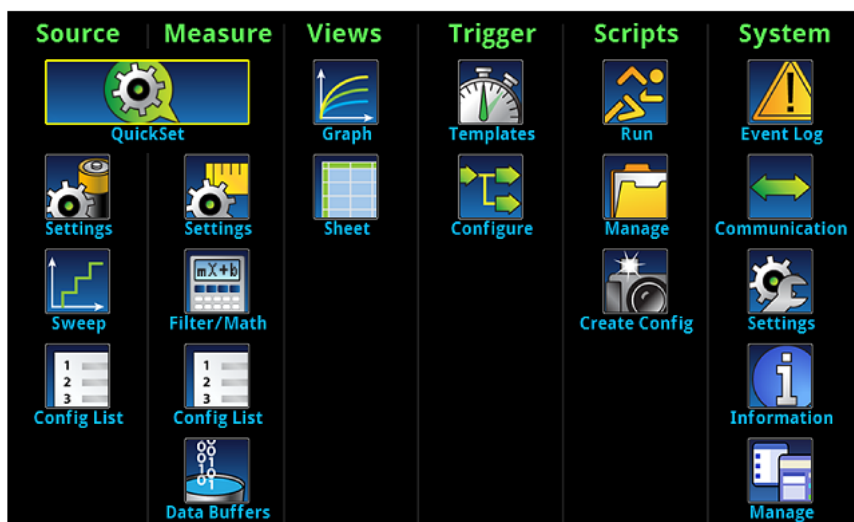
Для увеличения графика и для доступа к настройкам графика проведите пальцем до верхней части экрана TREND. На дисплее откроется экран Graph. Также открыть экран Graph можно, нажав клавишу **MENU** и выбрав **Graph** в списке Views.

Чтобы запустить из экрана Graph модель запуска или развертку, выберите Trigger Mode в полосе индикаторов. В открывшемся меню выберите **Initiate Trigger Model**. Также вы можете запустить развертку или модель запуска нажатием клавиши **TRIGGER**.

Обзор меню

Для доступа к главному меню нажмите клавишу MENU на передней панели модели 2460. На рисунке ниже показана структура главного меню.

Рисунок 8: Главное меню модели 2460



В главное меню входят подменю, подписанные зеленым шрифтом в верхней части экрана. Прикосновение к пиктограмме каждого подменю позволяет открывать соответствующие интерактивные экраны.

Запись измерений на USB флеш-накопитель

Если в буфере находятся данные измерения, то их можно скопировать с модели 2460 на USB флеш-накопитель. Информация сохраняется в файлах формата `.csv`.

Чтобы записать данные от измерения:

1. Вставьте флеш-накопитель в порт USB на передней панели.
2. Нажмите клавишу **MENU**.
3. В колонке Measure выберите **Data Buffers**.
4. Выберите буфер, который вы хотите сохранить.
5. Выберите **Save to USB**.
6. Введите имя для нового файла.
7. Выберите кнопку **OK** на отображаемой клавиатуре.
8. Выберите **Yes**, чтобы подтвердить сохранение файла.
9. Чтобы закрыть окно, нажмите **OK**.

Запись снимков экрана на USB флеш-накопитель

Содержимое экрана на передней панели можно сохранить в графическом файле. Прибор сохраняет эти графические файлы, известные также как снимки экрана, в последовательно пронумерованные файлы на USB флеш-накопитель.

Чтобы записать снимок экрана:

1. Вставьте флеш-накопитель в порт USB на передней панели.
2. Перейдите к экрану, который вы хотите сохранить.
3. Нажмите клавиши **HOME** и **ENTER**. Прибор отобразит «Saving screen capture».
4. Отпустите нажатые клавиши.

Использование удаленного интерфейса

Содержание раздела:

Интерфейсы для удаленного взаимодействия	3-1
Поддерживаемые удаленные интерфейсы	3-1
Связь по GPIB	3-2
Связь по ЛВС.....	3-4
Связь по USB.....	3-6
Использование веб-интерфейса	3-12
Определение используемого набора команд	3-15

Интерфейсы для удаленного взаимодействия

Модель 2460 поддерживает работу в удаленном режиме с использованием одного из доступных интерфейсов связи.

В один момент времени управлять моделью 2460 можно только по одному интерфейсу связи. Первый интерфейс, по которому получено сообщение, возьмет управление прибором. Если другой интерфейс посылает сообщение, то ему может быть передано управление прибором. В зависимости от режима доступа для смены интерфейса может потребоваться ввод пароля.

Модель 2460 автоматически определяет тип интерфейса связи (LAN, GPIB или USB) при подключении к соответствующему порту на задней панели прибора. В большинстве случаев специальные настройки на приборе не требуются. Кроме того, при смене типа подключаемого интерфейса нет необходимости перезагружать прибор.

Поддерживаемые удаленные интерфейсы

Модель 2460 поддерживает следующие удаленные интерфейсы:

- **GPIB:** интерфейсная шина общего назначения семейства IEEE-488
- **Ethernet:** связь по локальной сети Ethernet
- **USB:** порт USB, тип B
- **TSP-Link:** высокоскоростная шина для связи и синхронизации запускающих сигналов, к которой проектировщики систем для проведения испытаний могут подключать несколько приборов в конфигурации ведущий/ведомый.

Дополнительные сведения о TSP-Link находятся в разделе «Интерфейс расширения системы TSP-Link» в «Справочном руководстве к модели 2460» (*Model 2460 Reference Manual*).

Связь по GPIB

Интерфейс GPIB у модели 2460 соответствует стандарту IEEE 488.1 и поддерживает общие команды и топологию статусной модели стандарта IEEE 488.2.

К GPIB можно подключать до 15 устройств, включая контроллер. Максимальная длина будет меньшей из величин:

- Количество устройств, умноженное на 2 метра
- 20 метров

Игнорирование указанных ограничений может привести к неустойчивой работе шины.

Установка ПО драйвера GPIB

Сверьтесь с документацией к вашему контроллеру GPIB касательно того, где получить драйверы. Keithley Instruments также советует вам проверить веб-сайт контроллера GPIB на наличие новейшей версии драйверов или ПО.

Установка драйверов должна выполняться перед подключением соответствующих устройств. Это позволит избежать постановки соответствия между аппаратными средствами и неправильным драйвером.

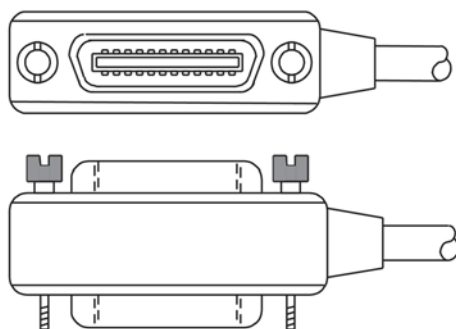
Установите карты GPIB в ваш компьютер

Сведения об установке контроллеров GPIB содержатся в документации производителя контроллера.

Подключите кабели GPIB к вашему прибору

Чтобы подключить прибор к GPIB воспользуйтесь кабелем со стандартными разъемами GPIB, как показано ниже.

Рисунок 9: Разъем GPIB

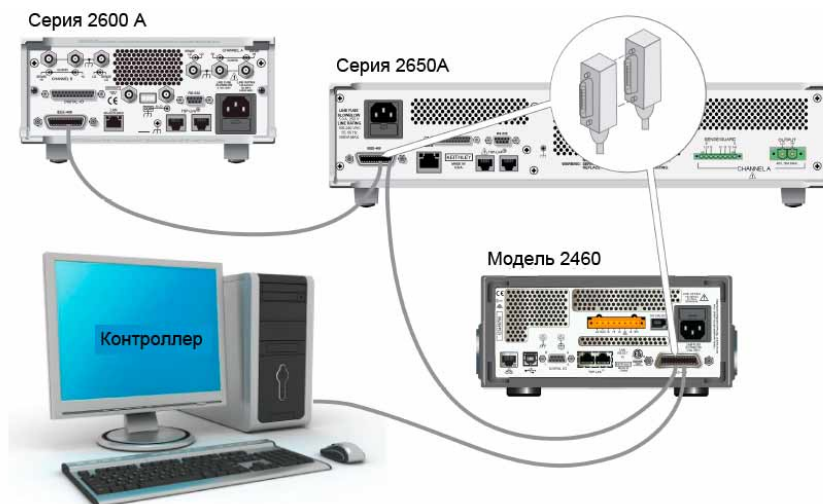


Для организации нескольких параллельных соединений рекомендуется крепить разъемы друг к другу. У каждого разъема есть два винта, гарантирующих надежность соединения. На рисунке ниже показана типичная схема соединений системы для проведения испытаний с несколькими приборами.

⚠ ВНИМАНИЕ

Во избежание возможных механических повреждений не крепите к одному прибору более трех разъемов. Для минимизации вызываемых электромагнитным излучением помех используйте только экранированные GPIB кабели. Для приобретения экранированных кабелей обращайтесь в Keithley Instruments.

Рисунок 10: Пример подключения модели 2460 в соответствии с IEEE-488



Установка адреса GPIB

По умолчанию адрес GPIB устанавливается равным 18. Вы можете установить адрес равным любому значению от 0 до 30 при условии, что оно уникально для системы. Необходимо следить, чтобы не возникало конфликтов с адресами других приборов или контроллера GPIB.

💡 ПОДСКАЗКА

Адрес контроллера GPIB обычно устанавливают равным 0 или 21. На всякий случай не присваивайте никаким приборам адреса 0 и 21. Процедуру смены адреса контроллера GPIB см. в соответствующей документации.

Прибор записывает свой адрес в энергонезависимую память. При получении команды на сброс или при выключении и последующем включении прибора изменение адреса не происходит.

Чтобы установить адрес GPIB с передней панели:

1. Нажмите клавишу **MENU**.
2. В меню System выберите **Communication**. Откроется окно SYSTEM COMMUNICATION.
3. Выберите вкладку GPIB.
4. Выберите число рядом с Address. Отобразится диалоговое окно GPIB Address.
5. Введите адрес.
6. Выберите **OK**.

Связь по ЛВС

Взаимодействие с прибором может осуществляться посредством локальной вычислительной сети (ЛВС, LAN).

При подключении через ЛВС можно через браузер зайти на внутреннюю веб-страницу прибора и изменить некоторые из настроек прибора. Подробнее см. в разделе «[Использование веб-интерфейса](#)» (на странице 3-123-12).

Модель 2460 – это прибор, соответствующий LXI версии 1.4 Core 2011, который поддерживает TCP/IP и отвечает требованиям стандарта IEEE 802.3 (Ethernet LAN). Прибор оснащен одним портом ЛВС (расположенным на задней панели прибора), который поддерживает возможность соединения по сети 10 Мбит или 100 Мбит. Выбор скорости осуществляется автоматически.

Модель 2460 также поддерживает Multicast DNS (mDNS) и DNS Service Discovery (DNS-SD, обнаружение службы разрешения имен), что полезно в ЛВС без централизованного администрирования.

ПРИМЕЧАНИЕ

Перед установкой соединения по ЛВС проконсультируйтесь с вашим сетевым администратором, чтобы учесть специфические для вашей сети требования.

Если у вас возникли проблемы при настройке ЛВС, см. раздел «[Советы по решению проблем с ЛВС](#)» (на странице 3-133-13).

Настройка связи по ЛВС на приборе

Данный раздел содержит описание процедуры настройки связи по ЛВС в автоматическом или ручном режиме.

Настройка конфигурации ЛВС в автоматическом режиме

При подключении к ЛВС с DHCP-сервером или использовании прямого соединения между прибором и управляющим компьютером следует воспользоваться автоматическим выбором IP-адреса.

В случае выбора Auto прибор попытается получить IP-адрес у DHCP сервера. Если это не удастся сделать, то он вернется к локальному IP-адресу из диапазона от 169.254.1.0 до 169.254.254.255.

ПРИМЕЧАНИЕ

И управляющий компьютер («хост»), и прибор должны быть установлены в автоматический режим конфигурирования ЛВС. Хотя и возможно установить один из них в ручной режим, это сложнее в настройке.

Чтобы установить автоматический выбор IP-адреса с передней панели:

1. Из домашнего экрана нажмите **MENU**.
2. В меню System выберите **Communication**.
3. Выберите вкладку **LAN**.
4. Для TCP/IP Mode выберите **Auto**.
5. Выберите **Apply Settings**, чтобы сохранить ваши настройки.

Настройка конфигурации ЛВС в ручном режиме

При необходимости IP-адрес прибора можно настроить вручную.

Вы также можете разрешить или запретить настройки DNS, либо назначить имя хоста для сервера DNS.

ПРИМЕЧАНИЕ

Свяжитесь с отделом информационных технологий (отдел IT) в вашей компании, чтобы при подключении прибора к корпоративной сети получить правильный IP-адрес для прибора.

IP-адрес прибор может содержать ведущие нули, а IP-адрес компьютера – нет.

Для настройки IP-адреса на приборе вручную:

1. Из домашнего экрана (Home) нажмите **MENU**.
2. В меню System выберите **Communication**.
3. Выберите вкладку **LAN**.
4. В поле TCP/IP Mode выберите **Manual**.
5. В поле Local IP введите IP-адрес ЛВС. Вы можете касаться чисел, которые хотите изменить.
6. В поле Gateway введите адрес шлюза.
7. В поле Subnet введите маску подсети.
8. Выберите **Apply Settings**, чтобы сохранить ваши изменения.

Настройка связи по ЛВС на компьютере

В этом разделе описана процедура настройки связи по ЛВС на вашем компьютере.

ПРИМЕЧАНИЕ

Не изменяйте IP-адрес без согласования с системным администратором. Ввод неверного IP-адреса может привести к тому, что компьютер не сможет подключиться к вашей корпоративной сети или возникнет конфликт с другим компьютером в сети.

Запишите все сетевые настройки перед тем, как начнете что-либо менять в существующей конфигурации, на карточке сетевого интерфейса. После обновления сетевых настроек предыдущие настройки пропадут. Это может вызвать проблемы с повторным подключением управляющего компьютера к корпоративной сети, в частности, если DHCP запрещен.

Не забудьте перед повторным подключением управляющего компьютера к корпоративной сети вернуть все настройки к изначальным. Более подробные инструкции вам даст ваш системный администратор.

Дождитесь, чтобы индикатор LAN на передней панели постоянно горел зеленым

Немигающий зеленый индикатор состояния LAN (ЛВС) подтверждает, что прибору назначен IP-адрес. Примите во внимание, что установка связи между компьютером и прибором может занять несколько минут.

Установите ПО LXI Discovery Browser на ваш компьютер

LXI Discovery Browser позволяет определять IP-адреса LXI-сертифицированных приборов. После определения IP-адреса вы можете дважды щелкнуть по нему в LXI Discovery Browser, чтобы открыть веб-интерфейс прибора.

Программное обеспечение Keithley LXI Discovery Browser доступно для скачивания на [вебсайте Keithley Instruments](http://www.keithley.com) (<http://www.keithley.com>).

Чтобы найти Keithley LXI Discovery Browser на веб-сайте Keithley:

1. Выберите вкладку **Support**.
2. В поле номера модели (model number) введите 2460.
3. В списке выберите **Software** и щелкните по пиктограмме поиска. Отобразится список приложений для прибора.
4. Более подробные сведения о приложении находятся в прилагаемом файле readme.

Подробнее о LXI Consortium см. на сайте [LXI Consortium website](http://www.lxistandard.org) (<http://www.lxistandard.org>).

Запустите LXI Discovery Browser

Чтобы запустить ПО LXI Discovery Browser:

1. Из меню «Пуск» Microsoft Windows выберите Keithley Instruments.
2. Выберите LXI Discovery Browser.
3. Щелкните по **LXI Discovery Browser**. Отобразится окно Keithley LXI Discovery Browser. Браузер LXI Discovery отображает приборы, которые он находит в сети, и назначенные им IP-адреса.
4. Дважды щелкните по IP-адресу в диалоговом окне LXI Discovery Browser. Откроется веб-страница для этого прибора.

Дополнительные сведения об использовании веб-страниц находятся в разделе «Веб-интерфейс» в «Справочном руководстве к модели 2460» (*Model 2460 Reference Manual*).

Связь по USB

Для использования порта USB на задней панели необходимо, чтобы на управляющем компьютере был установлен уровень Virtual Instrument Software Architecture (VISA). Подробнее см. в разделе «Установка Keithley I/O Layer» в «Справочном руководстве к модели 2460» (*Model 2460 Reference Manual*).

VISA содержит драйвер USB-класса для протокола USB Test and Measurement Class (USBTMC), который после установки позволит операционной системе Microsoft® Windows® распознать прибор.

При подключении устройства USB, которое запускает протокол USBTMC или USBTMC-USB488 на компьютер, драйвер VISA автоматически определяет это устройство. Обратите внимание, что драйвер VISA автоматически распознает только устройства USBTMC или USBTMC-USB488. Он не распознает другие устройства, такие как принтеры, сканеры и устройства хранения информации.

В этом разделе термин «USB приборы» обозначает устройства, работающие по протоколу USBTMC или USBTMC-USB488.

Подключение компьютера к модели 2460 посредством USB

Для подключения модели 2460 к компьютеру посредством USB-соединения воспользуйтесь Keithley Instruments Model USB-B-1 из комплекта поставки прибора.

Для каждой модели 2460 требуется отдельный USB-кабель для подключения к компьютеру.

Чтобы подключить прибор к компьютеру посредством USB:

1. Подключите конец кабеля с разъемом типа А к компьютеру.
2. Подключите конец кабеля с разъемом типа В к прибору.
3. Включите питание на приборе. Когда компьютер обнаружит новое USB-соединение, запустится помощник по установке нового оборудования.
4. Если откроется диалоговое окно с предложением поиска ПО на сайте Windows Update, ответьте **Нет (No)**, затем щелкните **Далее (Next)**.
5. В диалоговом окне «USB Test and Measurement device» щелкните **Далее (Next)**, затем щелкните **Завершить (Finish)**.

Обмен информацией с прибором

Чтобы прибор обменивался информацией с устройством USB, необходимо использовать NI-VISA™. Для подключения к правильному USB-прибору VISA необходим строковый ресурс в следующем формате:

```
USB0::0x05e6::0x2460::[serial number]::INSTR
```

Где:

- 0x05e6: идентификатор производителя Keithley
- 0x2460: номер модели прибора
- [serial number]: серийный номер прибора (серийный номер также есть на задней панели)
- INSTR: указание использовать протокол USBTMC

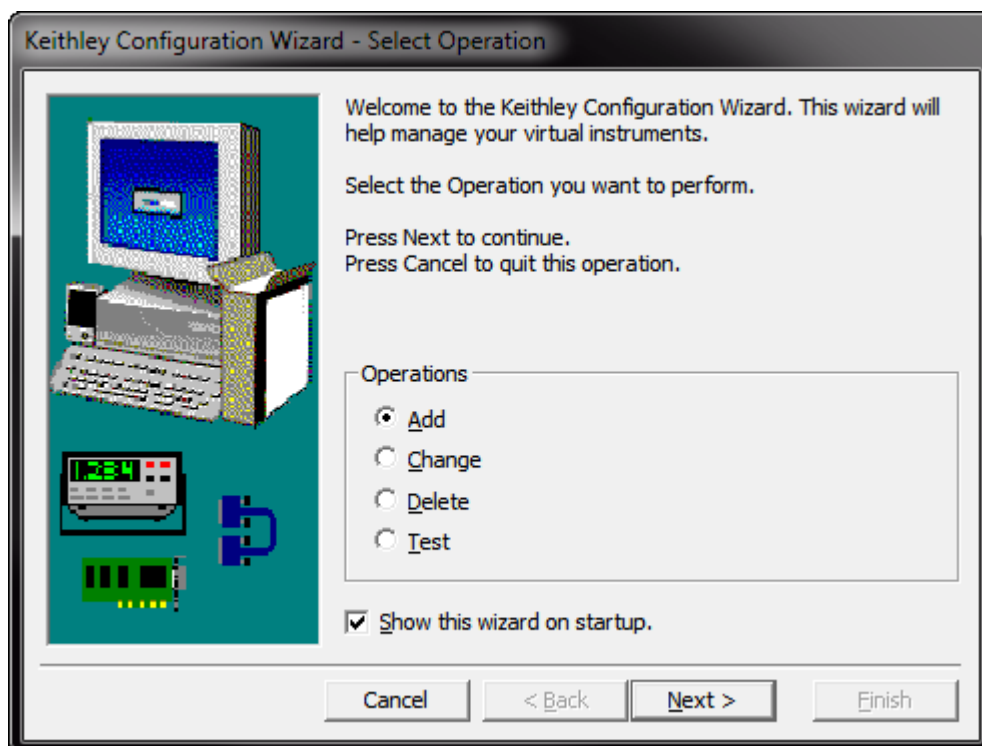
Для определения данных параметров вы можете запустить Keithley Configuration Panel (панель настройки Keithley), которая автоматически определяет все приборы, подключенные к компьютеру.

Если вы установили уровень Keithley I/O Layer, то панель Keithley Configuration Panel будет доступна в меню «Пуск» Microsoft® Windows®.

Чтобы использовать Keithley Configuration Panel для определения строкового ресурса VISA:

1. Щелкните **Пуск > Все программы > Keithley Instruments > Keithley Configuration Panel (Start→All Programs → Keithley Instruments → Keithley Configuration Panel)**. Отобразится диалоговое окно **Select Operation**.

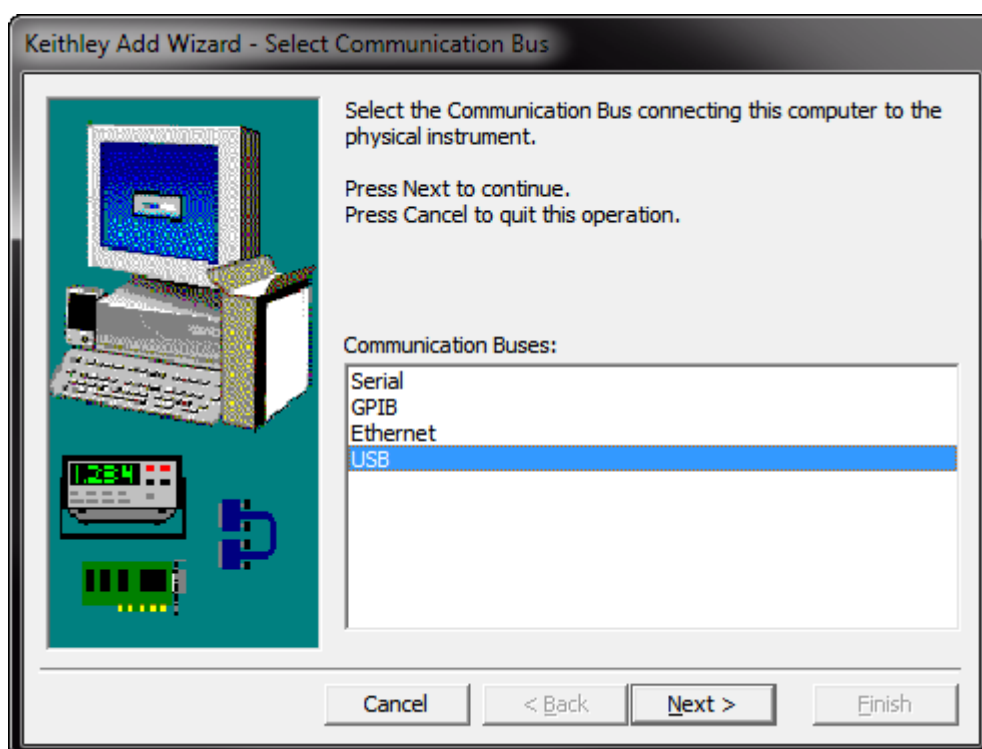
Рисунок 11: Диалоговое окно Select Operation



2. Выберите **Add**.

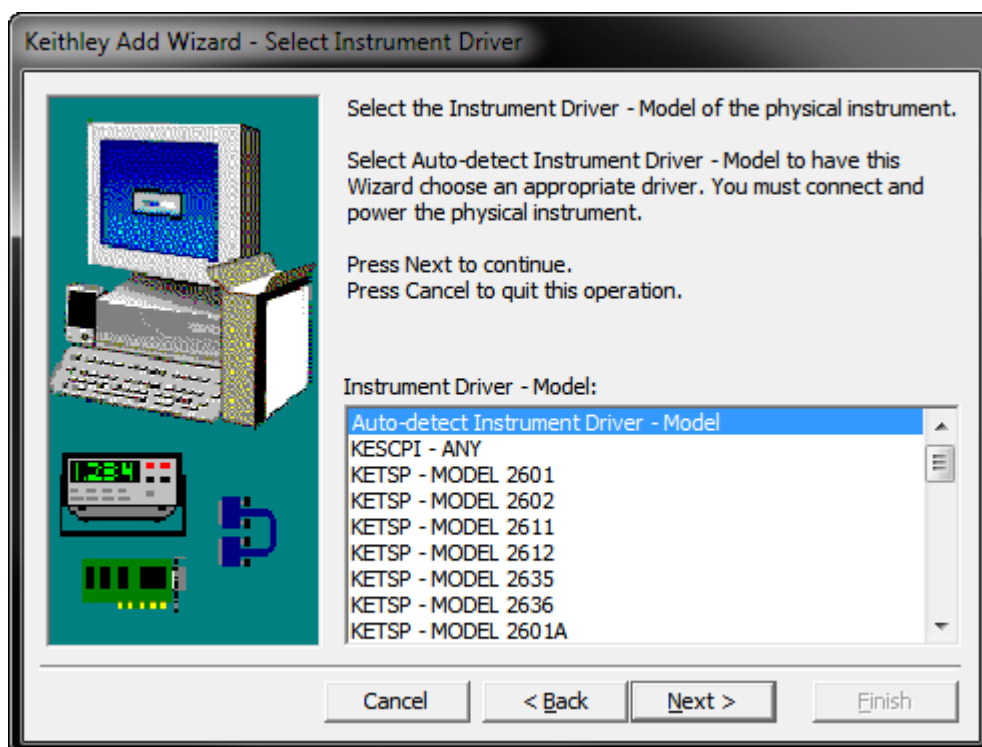
- Щелкните **Next**. Отобразится диалоговое окно Select Communication Bus.

Рисунок 12: Диалоговое окно Select Communication Bus



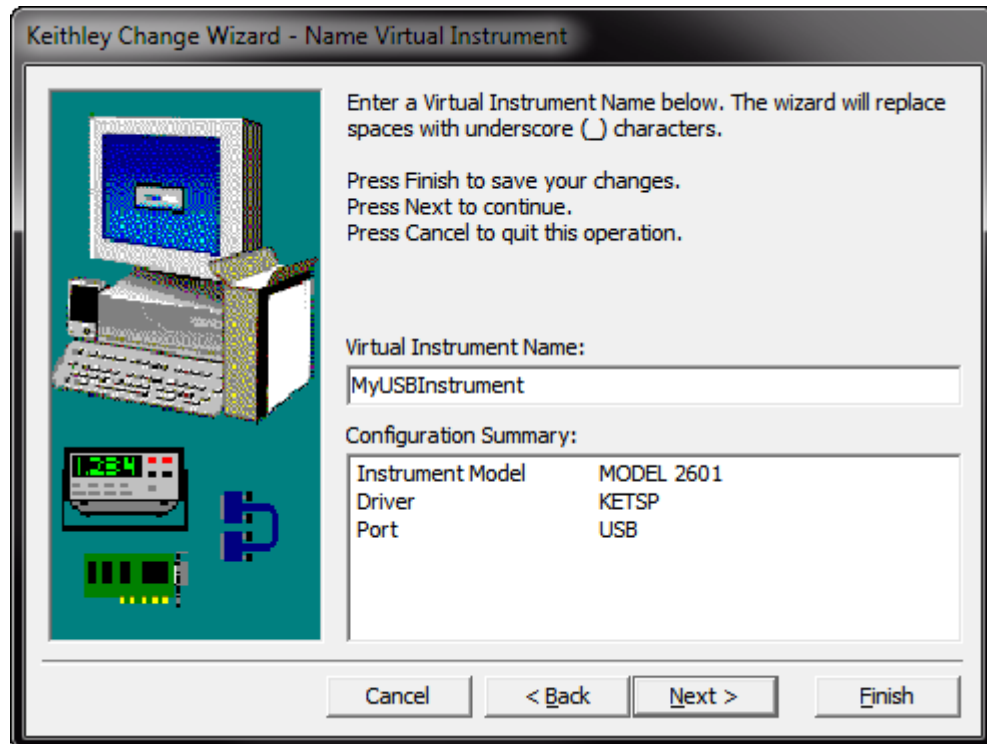
- Выберите **USB**.
- Щелкните **Next**. Отобразится диалоговое окно Select Instrument Driver.

Рисунок 13: Диалоговое окно Select Instrument Driver



6. Выберите **Auto-detect Instrument Driver - Model**.
7. Щелкните **Next**. Отобразится диалоговое окно Configure USB со строковым ресурсом для определенного VISA прибора.
8. Щелкните **Next**. Отобразится диалоговое окно Name Virtual Instrument.

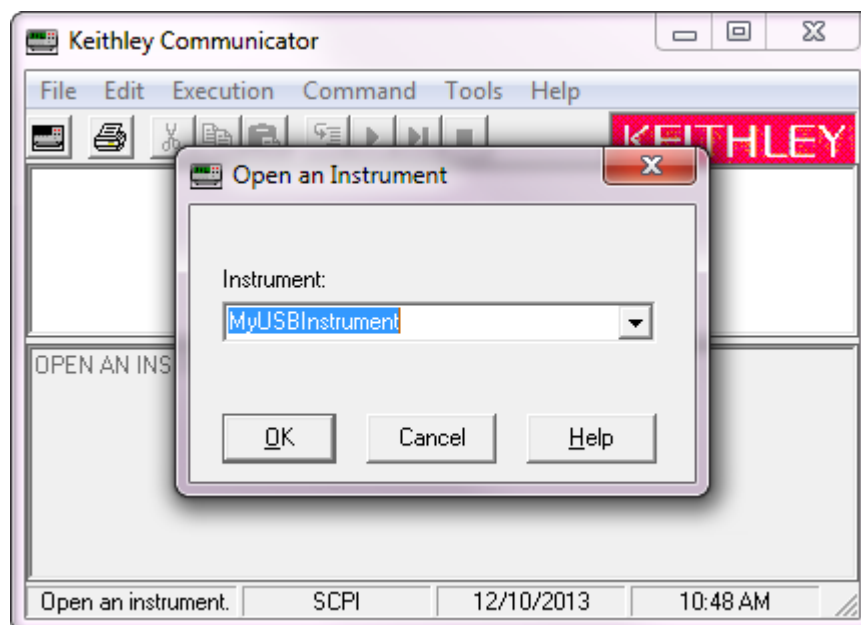
Рисунок 14: Диалоговое окно Name Virtual Instrument



9. В поле Virtual Instrument Name введите имя, которое вы хотите использовать при обращении к прибору.
10. Щелкните **Finish**.
11. Щелкните **Cancel**, чтобы закрыть «помощника» (Wizard).
12. Сохраните конфигурацию. Для этого выберите **File > Save** в Keithley Configuration Panel.

Проверьте прибор через Keithley Communicator:

1. Щелкните **Пуск > Все программы > Keithley Instruments > Keithley Communicator (Start→All Programs→Keithley Instruments→Keithley Communicator)**.
2. Выберите **File > Open Instrument** для того, чтобы открыть прибор, которому вы только что дали имя.

Рисунок 15: Open Instrument в Keithley Communicator

3. Щелкните **ОК**.
4. Отправьте на прибор команду и убедитесь, что прибор отвечает.

ПРИМЕЧАНИЕ

Если в вашей системе установлена полная версия NI-VISA, вы можете запустить NI-MAX или программу VISA Interactive Control. Сведения можно найти в документации National Instruments.

Если в вашей системе установлены Agilent IO Libraries, вы можете запустить Agilent Connection Expert, чтобы проверить ваши USB-приборы. Сведения можно найти в документации Agilent.

Использование веб-интерфейса

Веб-интерфейс модели 2460 позволяет просматривать основные сведения о приборе, изменять настройки IP, менять пароль к веб-интерфейсу, отправлять команды и просматривать ошибки LXI.

Подключение к веб-интерфейсу прибора

После установки связи между прибором и ЛВС вы можете открыть веб-страницу прибора.

Чтобы получить доступ к веб-интерфейсу:

1. Откройте браузер на управляющем компьютере.
2. Введите IP-адрес прибора в адресную строку браузера. Например, если IP-адрес прибора 192.168.1.101, то в адресной строке введите 192.168.1.101.
3. Нажмите **Enter** на клавиатуре компьютера, чтобы открыть веб-страницу прибора.
4. Если будут запрошены имя пользователя и пароль, введите их. Значение по умолчанию для обоих admin.

Советы по решению проблем с ЛВС

Если вы не можете подключиться к веб-интерфейсу прибора, то проверьте следующие пункты:

- Проверьте, что сетевой кабель подключен к порту LAN на задней панели прибора, а не к одному из портов TSP-Link®.
- Проверьте, что сетевой кабель подключен к правильному порту компьютера. Порт ЛВС на ноутбуке может отключаться, если ноутбук подключен к док-станции.
- Проверьте, что во время конфигурации использовалась настроечная информация для правильной сетевой карты.
- Проверьте, что сетевая карта на компьютере не отключена.
- Проверьте, что IP-адрес прибора совместим с IP-адресом компьютера.
- Проверьте, что маска подсети на приборе такая же, как маска подсети компьютера.
- Перезагрузите компьютер.
- Выключите питание прибора, затем включите. Подождите не менее 60 секунд, чтобы настройка сети завершилась. Проверьте, что прибору назначены правильные настройки:
 1. Нажмите клавишу **MENU**.
 2. В меню System выберите **Communication**.
 3. Выберите вкладку LAN.
 4. Проверьте настройки.

Если выполнение описанных выше рекомендаций не решит проблему, то обратитесь к вашему системному администратору.

Домашняя страница веб-интерфейса

Рисунок 16: Страница веб-интерфейса модели 2460

The screenshot shows the web interface for a Keithley 2460 Source Measure Unit. At the top, there is a red header with the 'KEITHLEY' logo (A Tektronix Company) and the 'LXI' logo. Below the header, the URL 'www.keithley.com' is visible. A navigation menu on the left includes: Home, Admin, LXI Home, IP Config, Log, Virtual Front Panel, Send Commands, Extract Data, and Help. The main content area is titled 'Source Measure Unit' and features an 'ID' button. Below the title is a table with the following data:

Instrument Model:	2460		
Manufacturer:	Keithley Instruments		
Serial Number:	01429274	Firmware Revision:	1.0.00
TCP Raw Socket:	5025	Telnet Port:	23
Last LXI Message: (history)	Reading buffer defbuffer1 is 0% filled		

Below the table is a photograph of the physical Keithley 2460 Source Measure Unit. The device's display shows 'MEASURE VOLTAGE +1.0065 Ω' and 'SOURCE CURRENT +7.00000 A'. The physical device has various ports and buttons, including a power button and a virtual front panel.

© 2007-2014 Keithley Instruments, Inc. All rights reserved.

Домашняя страница веб-интерфейса прибора содержит основные сведения о приборе, включая:

- Модель прибора, информацию о производителе, серийный номер и версию прошивки.
- Номер TCP Raw Socket и номер Telnet Port.
- Последнее сообщение LXI. По ссылке на архив сообщений можно перейти на домашнюю страницу LXI.
- Кнопку **ID** для помощи в идентификации прибора. См. раздел «Идентификация прибора» (на стр. 3-15).

Также веб-интерфейс позволяет управлять некоторыми функциями прибора:


- Виртуальная передняя панель позволяет управлять прибором так же, как это происходит с помощью передней панели. Подробнее см. в разделе «Использование виртуальной передней панели модели 2460» в «Справочном руководстве к модели 2460» (*Model 2460 Reference Manual*).
- Со страницы Send Commands веб-интерфейса пользователь может отправлять однострочные команды.

Идентификация прибора


При наличии нескольких приборов вы можете щелкнуть по кнопке ID, чтобы определить, с которым из приборов вы взаимодействуете в данный момент.

Перед попыткой найти прибор убедитесь, что с прибором установлено удаленное соединение.

Для идентификации прибора:

В верхнем правом углу домашней страницы щелкните .

Кнопка станет зеленой , а индикатор состояния ЛВС на приборе замигает.

Щелкните по кнопке  еще раз, чтобы вернуть ее исходный цвет и вернуть индикатор состояния ЛВС к постоянному свечению.

Просмотр событий-триггеров ЛВС в журнале событий

В журнал событий записываются все события LXI, которые прибор формирует и получает. Просмотр журнала событий возможен с помощью любого командного интерфейса или встроенного веб-интерфейса. Журнал содержит следующие сведения:

- Столбец EventID содержит идентификатор события, которое сгенерировало событие.
- Столбец System Timestamp показывает время в секундах и наносекундах, когда событие произошло.
- Столбец Data отображает текст сообщения события.
- Кнопка Refresh удаляет имеющиеся данные и выводит на экран прибора последнюю информацию, полученную от прибора.

Определение используемого набора команд

Вы можете изменить набор команд, который используется с моделью 2460. В доступные наборы удаленных команд входят:

- SCPI: специальный язык, построенный по стандарту SCPI.
- TSP: язык программирования, который можно использовать для отправки отдельных команд или формирования сценариев из нескольких команд.

Смешивание наборов команд не допускается.

ПРИМЕЧАНИЕ

После доставки из Keithley Instruments модель 2460 настроена на работу с набором команд Model 2460 SCPI.

Используя переднюю панель:

1. Нажмите клавишу **MENU**.
2. В меню System выберите **Settings**.
3. Выберите кнопку рядом с Command Set и выберите набор команд.
4. На экран прибора будет выведено сообщение с предложением перезагрузить прибор.

Переход на набор команд SCPI с удаленного интерфейса:

Пошлите команду:

```
*LANG SCPI
```

Перезагрузите прибор.

Переход на набор команд TSP с удаленного интерфейса:

Пошлите команду:

```
*LANG TSP
```

Перезагрузите прибор.

Чтобы проверить, какой набор команд выбран:

Пошлите команду:

```
*LANG?
```

Проведение основных измерений с передней панели

Содержание раздела:

Введение	4-1
Необходимое оборудование	4-2
Подключение устройств	4-2
Проведение измерений с передней панели	4-2

Введение

Модель 2460 позволяет выводить напряжение или ток и выполнять измерения с помощью органов управления, расположенных на передней панели.

ПРИМЕЧАНИЕ

Перед внесением изменений в другие настройки прибора следует убедиться, что был выбран нужный режим. Доступные варианты настроек будут зависеть от типа режимов, которые активны на момент внесения изменений. Если внести изменение, несовместимое с активными режимами, то можно получить неожиданные результаты или получить сообщение о событии. Также обратите внимание, что при выборе другого режима, прибор очищает буфер.

Настоящее руководство содержит описание процедур, следование которым позволит получить наилучшие результаты.

В примере далее описывается процедура измерения на резисторе 10 кОм с выводом напряжения и измерением тока. Подобные измерения можно провести на любом двухполюсном тестируемом устройстве, если использовать подходящие значения источника.

Настройка модели 2460 для проведения измерения с помощью органов управления на передней панели осуществляется с использованием следующих методов:

- **Использование быстрых настроек.** Нажмите клавишу **QUICKSET** (быстрые настройки), чтобы открыть меню предварительно настроенных конфигураций, включая вольтметр, амперметр, омметр и настройки источника питания. Также данная клавиша позволяет выбирать функции тестирования и выполнять подстройку для получения лучшего разрешения или более высокой скорости.
- **Выбор режима воспроизведения и измерения.** Нажмите клавишу **FUNCTION**, чтобы выбрать из списка нужный режим воспроизведения и измерения.
- **Использование вариантов из меню.** Нажмите клавишу **MENU**, чтобы открыть меню с вариантами.

После выбора нужного режима воспроизведения и измерения выберите соответствующие кнопки на домашнем экране модели 2460 и дополнительном экране Settings (настройки), чтобы изменить настройки.

Для проведения измерения, описываемого в примере далее, потребуется выполнить настройки с использованием комбинации указанных методов.

Необходимое оборудование

Оборудование, необходимое для выполнения измерения:

- Прибор Interactive SourceMeter® модели 2460
- Два изолированных кабеля с разъемом «банан»; можно воспользоваться набором, поставляемым в комплекте с моделью 2460 – Keithley Instruments Model 8608 High-Performance Clip Lead Set.
- Один проверяемый резистор на 10 кОм

Подключение устройств

ПРИМЕЧАНИЕ

Перед подключением к модели 2460 необходимо отключить питание прибора.

Подключите модель 2460 к резистору по двухпроводной схеме. В этой схеме устройство подключается между клеммами FORCE HI и FORCE LO.

Физические соединения с разъемами на передней панели показаны на рисунке ниже.

Рисунок 17: Подключение к разъемам на передней панели модели 2460 по двухпроводной схеме



Проведение измерений с передней панели

Во время данного измерения будут выполняться следующие операции:

- Выбор режима воспроизведения и измерения
- Выбор диапазона источника
- Установка величины источника
- Установка предела источника
- Выбор диапазона измерения
- Включение вывода сигнала
- Наблюдение за показаниями на экране
- Выключение вывода сигнала

Процедура измерения с передней панели

Чтобы провести измерения с передней панели:

1. Нажмите выключатель **POWER** на передней панели, чтобы включить прибор или выключить и включить его снова, если он был включен.
2. Проверьте, что выбран режим воспроизведения и измерения. На передней панели нажмите клавишу **FUNCTION**.
3. В меню Source Voltage and Measure выберите **Current**.
4. Выберите диапазон источника. На домашнем экране в меню SOURCE VOLTAGE выберите кнопку рядом с Range.
5. Выберите **20 V**.
6. Выберите напряжение источника. Под SOURCE VOLTAGE выберите кнопку рядом с Source.
7. Введите **10 V** и выберите **OK**.
8. Установите пределы для источника. Под SOURCE VOLTAGE выберите кнопку рядом с Limit.
9. Введите **10 mA** и выберите **OK**.
10. Выберите диапазон измерения. В области Measure на домашнем экране выберите кнопку рядом с Range.
11. Выберите **Auto**.
12. Включите вывод нажатием выключателя **OUTPUT ON/OFF**. Индикатор OUTPUT загорится.
13. Считайте показания с экрана. Для резистора 10 кОм типичными значениями будут:
1.00000 mA
+9.99700 V
14. После завершения измерений выключите вывод нажатием выключателя **OUTPUT ON/OFF**. Индикатор OUTPUT погаснет.

Измерение низкоомных устройств

Содержание раздела:

Введение	5-1
Необходимое оборудование	5-1
Настройка удаленного взаимодействия	5-1
Подключение устройств	5-2
Низкоомные измерения	5-5

Введение

В данном примере демонстрируется использование модели 2460 для измерения низкоомных устройств.

Проведение низкоомных измерений (< 10 Ом) может понадобиться в ряде случаев. Типичные случаи включают в себя проверки отсутствия разрывов кабелей и разъемов, ВАХ подложек и резисторов. Обычно такие измерения проводятся посредством пропускания тока и измерения результирующего падения напряжения. Модель 2460 автоматически вычисляет сопротивление. Измеряемые напряжения обычно находятся в милливольтной области или ниже. Встроенные возможности модели 2460, такие как возможность подключения по четырехпроводной схеме и компенсация смещения, позволяют оптимизировать измерение низкоомных устройств.

Необходимое оборудование

- Один прибор Interactive SourceMeter® модели 2460.
- Для подключения к передней панели воспользуйтесь четырьмя кабелями «банан», такими как Keithley Instruments Model 8608 High-Performance Clip Lead Set (один комплект поставляется с моделью 2460, второй приобретается отдельно).
- Для подключения к задней панели используйте 1 комплект разъемов Model 2460-KIT Screw-Terminal Connector Kit (входит в комплект поставки модели 2460) или комплект Model 2460-BAN Banana Test Leads/Adapter Cables (с соответствующими устройствами для подключения к прибору).
- Одно низкоомное устройство для проверки; в описываемом примере используется резистор с сопротивлением 20 мОм.

Настройка удаленного взаимодействия

Выполнение данного примера возможно с помощью органов управления на передней панели, либо любого из поддерживаемых прибором типов интерфейса связи (GPIB, USB или Ethernet).

На следующем рисунке показано расположение на задней панели разъемов для подключения удаленных интерфейсов связи. Дополнительные сведения о настройке и удаленному взаимодействию находятся в разделе «[Интерфейсы для удаленного взаимодействия](#)» (на стр. 3-1).

Рисунок 18: Схема подключения модели 2460 к интерфейсам удаленной связи

Подключение устройств

Для получения максимальной точности измерения используйте в данном случае четырехпроводную схему измерения (метод Кельвина). Этот метод устраняет влияние сопротивления подводящих элементов на точность измерения. Он является предпочтительным для измерения низких сопротивлений.

Для того чтобы применить четырехпроводной метод:

- Подключите один набор измерительных кабелей к клеммам FORCE HI и FORCE LO; эта конфигурация пропускает ток через проверяемое устройство.
- Подключите второй набор измерительных кабелей к клеммам SENSE HI и SENSE LO, на которых будет измеряться падение напряжения на проверяемом устройстве.

⚠ ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ

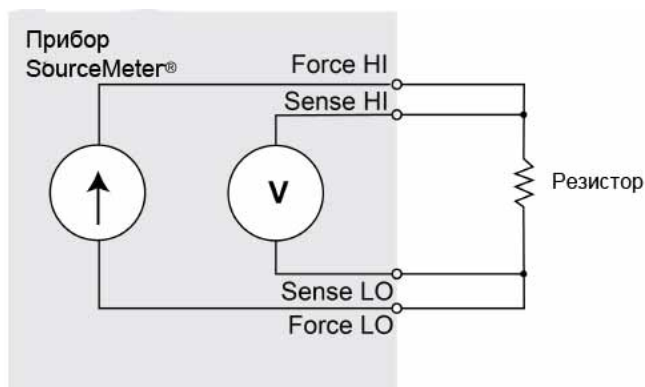
На всех выходных клеммах и клеммах защиты может присутствовать опасное напряжение. Чтобы избежать поражения электрическим током, которое может нанести вред здоровью или привести к смерти, никогда не соединяйте и не разрывайте связи с моделью 2460 при включенном выводе сигнала.

Чтобы избежать поражения электрическим током, соединения устройств для проведения теста должны быть спроектированы таким образом, чтобы исключить возможность соприкосновения пользователя с токоведущими жилами или с проверяемым устройством, которое находится в контакте с токоведущими жилами. Настоятельно рекомендуется отключать от прибора проверяемое устройство перед тем, как включить прибор. Для обеспечения безопасности эксплуатации установки потребуются экраны, барьеры и заземление, чтобы исключить возможность контакта с токоведущими жилами.

Между защитным заземлением и клеммой LO модели 2460 нет внутреннего соединения. Поэтому, на клемме LO могут появляться опасные напряжения (более $30 V_{rms}$). Это может происходить при работе прибора в любом режиме. Чтобы предотвратить появление опасных напряжений на клемме LO, соедините клемму LO с защитным заземлением, если это возможно в рамках решаемой задачи. Также возможно подключение клеммы LO к клемме корпусной земли на передней панели или к винтовой клемме заземления на массу на задней панели. Обратите внимание, что клеммы на передней панели изолированы от клемм на задней панели. Поэтому при использовании клемм на передней панели заземление следует выполнять на клемму LO передней панели. При использовании клемм на задней панели, заземляйтесь на клемму LO задней панели.

На рисунке ниже показана схема для рассматриваемого примера.

Рисунок 19: Вывод тока и измерение сопротивления с помощью четырехпроводной схемы

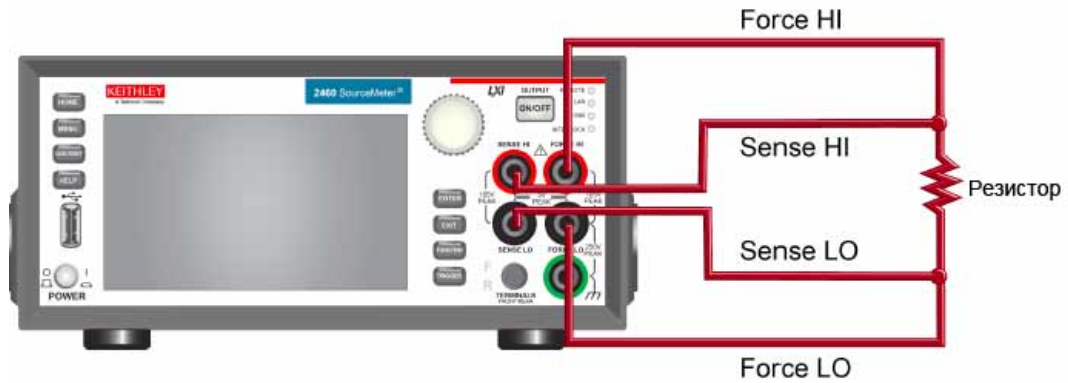


Для выполнения данной задачи можно использовать клеммы либо на передней панели, либо на задней панели. На следующих рисунках показаны физические соединения для передней и задней панелей. Обратите внимание, что вы можете использовать клеммы либо на передней, либо на задней панели, но смешивать соединения нельзя.

При подключении проводов к проверяемому устройству обратите внимание, что FORCE LO и SENSE LO подключаются к одному из выводов проверяемого устройства. Подключите FORCE HI и SENSE HI к другому выводу. Подключите выводы SENSE настолько близко к проверяемому резистору, насколько это возможно. Возможность подключения по четырехпроводной схеме позволяет исключить из полученного результата сопротивление измерительных проводов.

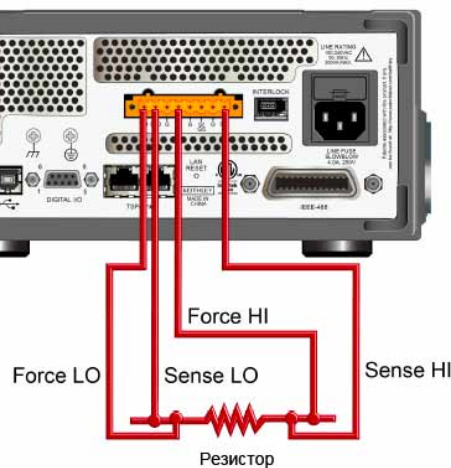
На рисунке ниже показаны соединения с передней панелью. Вы можете сделать эти соединения с помощью четырех изолированных кабелей с разъемом типа «банан», рассчитанных на работу с максимальным током (7 A), например, с помощью двух наборов Keithley Instruments Model 8608 High-Performance Clip Lead Set.

Рисунок 20: Подключения к передней панели модели 2460 для низкоомных измерений



На рисунке ниже показаны соединения с разъемами на задней панели. Соединения выполняются с помощью комплекта разъемов Model 2460-KIT Screw-Terminal Connector Kit (входит в комплект поставки модели 2460) или комплекта Model 2460-BAN Banana Test Leads/Adapter Cables (с соответствующими устройствами для подключения к прибору).

Рисунок 21: Подключения к задней панели модели 2460 для низкоомных измерений



Низкоомные измерения

В данном примере рассматривается использование модели 2460 для измерения низкоомных устройств. Измерение можно проводить с передней панели или по удаленному интерфейсу с помощью кода SCPI или кода TSP.

Во время данного измерения будут выполняться следующие операции:

- Сброс прибора.
- Выбор режима воспроизведения тока и измерения сопротивления.
- Установка величины источника тока.
- Выбор четырехпроводного режима, что позволит исключить влияние сопротивления подводящих элементов на точность полученных результатов.
- Включение функции компенсации смещения, что позволяет уменьшить смещение, вызываемое термо-эдс. Сведения о компенсации смещения находятся в разделе «Что такое компенсация смещения?» в «Справочном руководстве к модели 2460» (*Model 2460 Reference Manual*).
- Включение вывода сигнала и запуск измерения.
- Считывание показаний с передней панели или по удаленному интерфейсу.
- Выключение вывода сигнала.

Настройка параметров измерения с передней панели

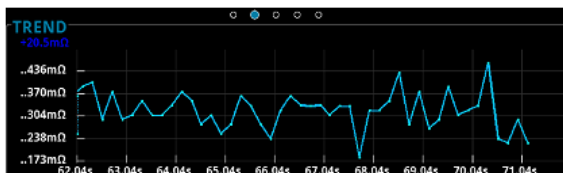
Для того чтобы настроить параметры измерения с передней панели:

1. Соедините модель 2460 и проверяемое устройство, как описано в разделе «Соединение устройств» (на стр. 5-2, стр. 8-25-2).
 2. Произведите сброс прибора:
 - a. Нажмите клавишу **MENU**.
 - b. Под System выберите **Manage**.
 - c. Выберите **System Reset**.
 - d. Выберите **OK**.
 3. Нажмите клавишу **FUNCTION**.
 4. Под Source Current and Measure выберите **Resistance**.
 5. Нажмите клавишу **HOME**.
 6. В области SOURCE CURRENT выберите кнопку рядом Source. Выберите величину источника.
 7. Нажмите клавишу **MENU**. Под Measure выберите **Settings**.
 8. В поле Sense Mode выберите **4-Wire Sense**.
 9. Рядом с Offset Comp выберите **On**.
 10. Нажмите клавишу **HOME**.
 11. Нажмите выключатель **OUTPUT ON/OFF**, чтобы разрешить вывод и начать измерения.
 12. Нажмите выключатель **OUTPUT ON/OFF**, чтобы отключить вывод и завершить измерения.
- Прибор отображает результат измерения в области MEASURE VOLTAGE на домашнем экране.

Просмотр результатов измерений на передней панели на дополнительном экране TREND

Результаты измерения сопротивления можно просмотреть в виде функции от времени на передней панели на дополнительном экране TREND. Для доступа к дополнительному экрану TREND проведите пальцем вправо по нижней части домашнего экрана. Отобразится график, как на рисунке ниже.

Рисунок 22: Дополнительный экран TREND модели 2460



Чтобы просмотреть график в полноэкранном режиме, проведите пальцем вверх по дополнительному экрану TREND, после чего будет открыт экран Graph.

Просмотр статистики буфера на передней панели

Модель 2460 позволяет просмотреть статистику измерения на дополнительном экране STATISTICS на передней панели, включая:

- Имя буфера
- Минимальное, максимальное и среднее значение показаний
- Среднеквадратичное отклонение

Рисунок 23: Дополнительный экран STATISTICS модели 2460



Настройка параметров низкоомного измерения с помощью команд SCPI

Приведенная ниже последовательность команд SCPI позволяет выполнить 100 низкоомных измерений, подавая ток и измеряя сопротивление. В этом примере абсолютная величина подаваемого тока и пределы напряжения устанавливаются автоматически. Для смены экрана на передней панели на дополнительный экран TREND используются команды удаленного интерфейса, что позволяет видеть численные значения в верхней части экрана, а графическое представление в нижней части экрана.

Возможно, вам потребуется внести изменения в указанный код, чтобы он мог быть выполнен в вашем программном окружении.

Отправьте следующие команды для выполнения измерения:

Команда	Описание
<pre>*RST TRIG:LOAD:LOOP:SIMP 100 SENS:FUNC "RES" SENS:RES:RANG:AUTO ON SENS:RES:OCOM ON SENS:RES:RSEN ON DISP:SCR PLOT OUTP ON INIT *WAI TRAC:DATA? 1, 100, "defbuffer1", READ, REL OUTP OFF</pre>	<ul style="list-style-type: none"> • Сброс модели 2460. • Настроить модель запускающего сигнала «Простой цикл» на 100 считываний. • Установка на измерение сопротивления. • Включить авто-диапазон. • Разрешить компенсацию смещения. • Включить четырехпроводной режим. • Показать дополнительный экран TREND. • Включить вывод. • Запустить измерение. • Ждать окончания. • Считать значения сопротивления и времени из defbuffer1. • Выключить вывод.

Настройка параметров низкоомного измерения с помощью команд TSP

ПРИМЕЧАНИЕ

Следующий код TSP спроектирован для запуска с помощью Keithley Instruments Test Script Builder (TSB, средство построения сценариев тестирования). TSB – это программное обеспечение, доступное для скачивания с веб-сайта Keithley Instruments. TSB позволяет создавать код и разрабатывать сценарии для приборов, поддерживающих работу с TSP. Подробнее об использовании TSB см. в онлайн-справке к TSB и в разделе «Введение в работу с TSP» «Справочного руководства к модели 2460».

Для использования в других программных окружениях может понадобиться внести изменения в TSP код этого примера.

По умолчанию модель 2460 настроена на использования набора команд SCPI. Перед отправкой команд TSP на прибор необходимо выбрать набор команд TSP в качестве используемого.

Чтобы разрешить команды TSP:

1. Нажмите клавишу **MENU**.
2. Под System выберите **Settings**.
3. В поле Command Set выберите **TSP**.
4. Вам будет предложено перезагрузиться. Выберите **Yes**.

Эта последовательность команд TSP проводит 100 низкоомных измерений, включающих подачу тока и измерение сопротивления. В этом примере абсолютная величина подаваемого тока и пределы напряжения устанавливаются автоматически. Для смены экрана на передней панели на дополнительный экран TREND используются команды удаленного интерфейса. Это позволяет видеть численные значения в верхней части экрана, а графическое представление в нижней части экрана. После выполнения кода данные будут отображаться в Instrument Console (консоль прибора) в Test Script Builder.

Отправьте следующие команды для выполнения данной задачи:

```
--Сброс прибора на установки по умолчанию
reset()
--Настроить модель запускающего сигнала «Простой цикл» на 100 считываний.
trigger.model.load("SimpleLoop", 100)
--Сменить вид на передней панели на дополнительный экран TREND.
display.changescreen(display.SCREEN_PLOT_SWIPE)
--Настроить на измерение сопротивления, использовать четырехпроводной метод
--и компенсацию смещения.
smu.measure.func = smu.FUNC_RESISTANCE
smu.measure.sense = smu.SENSE_4WIRE
smu.measure.offsetcompensation = smu.ON
--Включить вывод
smu.source.output = smu.ON
--Запустить модель запускающего сигнала и ждать завершения.
trigger.model.initiate()
waitcomplete()
--Выключить вывод
smu.source.output = smu.OFF
--Считать величины сопротивления и времени из defbuffer1.
print("Resistance:\tTime:")
for i = 1, 100 do
    print(string.format("%f\t%f", defbuffer1[i], defbuffer1.relativetimestamps[i]))
end
```

Измерение заряда-разряда аккумуляторной батареи

Содержание раздела:

Введение	6-1
Необходимое оборудование	6-3
Подключение устройств	6-4
Автоматизированная проверка цикла заряда-разряда батареи	6-6

Введение

В данном разделе демонстрируется использование одного блока модели 2460 для выполнения автоматизированного цикла разряда и заряда аккумуляторной батареи.

ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ

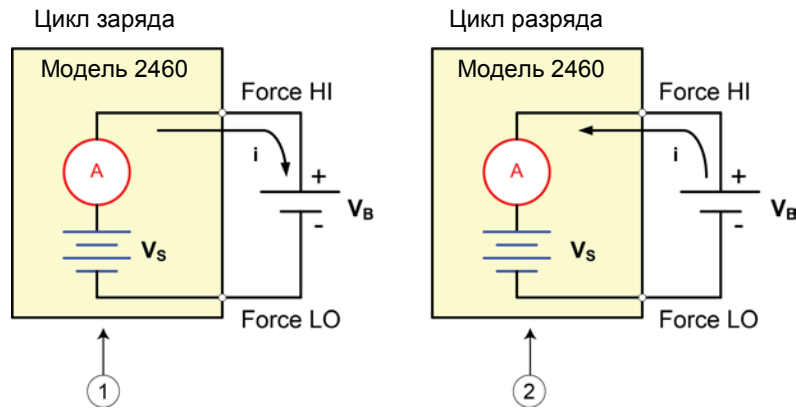
Во избежание нанесения вреда здоровью или повреждения модели 2460 запрещается заряжать незаряжаемые батареи. Некоторые из типов батарей, которые можно заряжать с помощью модели 2460: никель-кадмиевые (Ni-Cd), никель-металгидридные (Ni-MH), литиево-ионные (Li-ion), перезаряжаемые щелочные и свинцово-кислотные. Если вы работаете с типом батареи, отличным от указанных выше, то свяжитесь с местным представительством Keithley, торговым партнером или дистрибьютором, либо позвоните нашему техническому специалисту для консультации.

Всегда следуйте рекомендациям производителя батареи для заряда или разряда с помощью модели 2460. Неправильный заряд или разряд батареи может привести к тому, что она потечет или взорвется, нанеся вред здоровью или порчу имуществу. Следует обеспечить защиту от превышения напряжения и тока в цепи заряда, внешней по отношению к прибору, когда заряжаются батареи без встроенной защиты.

Не заряжайте и не разряжайте батареи, превышающие 100 В при 1.0 А, 20 В при 4.0 А, 10 В при 5.0 А или 7 В при 7 А.

И для цикла заряда, и для цикла разряда модель 2460 настраивается на воспроизведение напряжения и измерение тока. На рисунках на следующей странице показаны упрощенные схемы для циклов заряда и разряда.

Рисунок 24: Схемы циклов заряда-разряда батареи



1	Модель 2460 в режиме источника ($V_S > V_B$). Прибор работает как источник питания, ток заряда (i) положительный.
2	Модель 2460 в режиме потребителя ($V_S < V_B$). Прибор работает как электронная нагрузка, ток разряда (i) отрицательный.

Заряд

Обычно батареи заряжают постоянным током. Для этого используйте модель 2460 в качестве источника напряжения, настроенного на номинальное напряжение батареи с желаемым значением зарядного тока, заданного в качестве предельного тока. В начале проверки напряжение батареи меньше, чем настроенное выходное значение напряжения модели 2460. Таким образом, эта разница напряжений создает ток, который тут же ограничивается до значения, заданного пользователем. В режиме предельного тока модель 2460 работает как источник постоянного тока до тех пор, пока он не достигнет запрограммированного уровня напряжения. По мере того, как батарея набирает полный заряд, ток уменьшается, пока не достигнет нулевого или близкого к нему. Во избежание травмирования оператора или повреждения батареи внимательно следите за тем, чтобы не перезарядить батарею.

Разряд

При разряде батареи модель 2460 работает в качестве потребителя энергии, так как она рассеивает энергию вместо того, чтобы выдавать ее. Источник напряжения модели 2460 настраивается на уровень, более низкий, чем напряжение батареи. Предельный ток задает скорость разряда. Когда выход включен, ток из батареи уходит в клемму HI модели 2460. Таким образом, значения тока отрицательные. Ток разряда должен оставаться постоянным до тех пор, пока напряжение на батарее не понизится до уровня источника напряжения модели 2460.

ВНИМАНИЕ

При использовании источника тока для заряда или разряда батарей следует соблюдать следующие меры предосторожности. Несоблюдение этих мер предосторожности может привести к повреждению прибора, не покрываемому гарантией.

Убедитесь, что внешнее напряжение не превышает значения предела по напряжению для источника тока. Это приведет к отбору чрезмерно большого тока от внешней батареи или источника.

Обязательно переводите источник тока в режим отключенного вывода с высоким сопротивлением. Эта настройка открывает выходное реле, когда вывод сигнала выключен. При выборе обычного режима отключенного вывода, отключение вывода устанавливает предельное напряжение равным 0 В, что приведет к отбору чрезмерного тока от внешней батареи или источника.

Тщательно проверьте и настройте режим отключенного вывода, источник и предельные значения перед тем, как подключать модель 2460 к устройству, поставляющему энергию. К поставляющим энергию устройствам относятся источники напряжения, батареи, конденсаторы и солнечные батареи. Настройку прибора необходимо выполнять перед подключением к этим устройствам. Пренебрежение настройкой режима отключенного вывода, источника и предельных значений может привести к повреждению прибора или проверяемого устройства.

При использовании источника тока в качестве потребителя энергии всегда задавайте предельное напряжение и настраивайте защиту от чрезмерного напряжения на уровни, превышающие значения внешнего напряжения. Несоблюдение этой рекомендации может привести к прохождению чрезмерно большого тока через модель 2460 (>100 мА) и неверным измерениям.

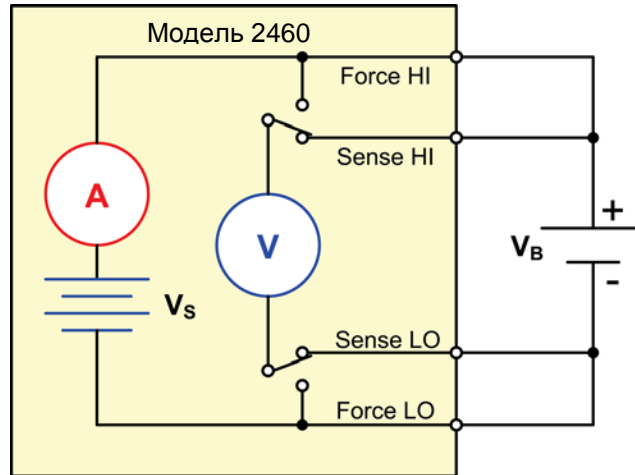
Необходимое оборудование

- Один прибор модели 2460 High-Current Interactive SourceMeter®
- Для подключения к передней панели воспользуйтесь четырьмя изолированными кабелями типа «банан», такими как Keithley Instruments Model 8608 High-Performance Clip Lead Set (один комплект поставляется с моделью 2460, второй приобретается отдельно).
- Для подключения к задней панели используйте 1 комплект разъемов Model 2460-KIT Screw-Terminal Connector Kit (входит в комплект поставки модели 2460) или комплект Model 2460-BAN Banana Test Leads/Adapter Cables (с соответствующими устройствами для подключения к прибору).
- Один кабель GPIB, USB или Ethernet для подключения модели 2460 к компьютеру
- Одна аккумуляторная батарея 2500 мА·ч D (1.2 В) для проверки

Подключение устройств

Для проведения проверки подключите модель 2460 к батарее так, как показано на рисунке ниже. Произведите четырехпроводное подключение (с обратной связью по напряжению) клемм прибора к батарее, чтобы исключить влияние сопротивления токоведущих проводов. Это позволит измерять напряжение на батарее максимально близко к клеммам прибора.

Рисунок 25: Схема для проверки цикла заряда-разряда батареи с помощью модели 2460



⚠ ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ

Чтобы избежать поражения электрическим током, соединения устройств для проведения теста должны быть спроектированы таким образом, чтобы исключить возможность соприкосновения пользователя с токоведущими жилами или с проверяемым устройством, которое находится в контакте с токоведущими жилами. Настоятельно рекомендуется отключать от прибора проверяемое устройство перед подачей питания на прибор. Для обеспечения безопасности эксплуатации установки потребуются экраны, барьеры и заземление, чтобы исключить возможность контакта с токоведущими жилами.

Между защитным заземлением и клеммой LO модели 2460 нет внутреннего соединения. Поэтому, на клемме LO могут появляться опасные напряжения (более $30 V_{rms}$). Это может происходить при работе прибора в любом режиме. Чтобы предотвратить появление опасных напряжений на клемме LO, соедините клемму LO с защитным заземлением, если это возможно в рамках решаемой задачи. Также возможно подключение клеммы LO к клемме корпусной земли на передней панели или к винтовой клемме заземления на массу на задней панели. Обратите внимание, что клеммы на передней панели изолированы от клемм на задней панели. Поэтому при использовании клемм на передней панели заземление следует выполнять на клемму LO передней панели. При использовании клемм на задней панели, заземляйтесь на клемму LO задней панели.

Максимальное входное напряжение между INPUT HI и INPUT LO составляет 105 В (пиковое). Превышение данного значения может привести к поражению электрическим током.

Максимальное синфазное напряжение (напряжение между INPUT LO и заземлением на корпус) составляет 250 В (пиковое). Превышение данного значения может привести к пробое изоляции, что может стать причиной поражения электрическим током.

Подключение к модели 2460 можно выполнить с помощью разъемов как на передней, так и на задней панели.

Подключите выходные клеммы Force HI и Sense HI модели 2460 к положительной (+) клемме батареи. Подключите выходные клеммы Force LO и Sense LO модели 2460 к отрицательной (–) клемме батареи.

Убедитесь, что при отключении вывода модель 2460 переходит в режим отключенного вывода с высоким сопротивлением (High-Z). Когда выбран режим с высоким сопротивлением, при отключении вывода сигнала открывается выходное реле, что позволяет предотвратить разряд батареи после выключения вывода.

Чтобы установить режим отключения вывода с высоким сопротивлением:

1. Нажмите клавишу **MENU**.
2. В столбце Source выберите **Settings**.
3. Выберите кнопку рядом с Output Off и выберите **High Impedance**.
4. Нажмите клавишу **HOME**, чтобы вернуться на домашний экран.

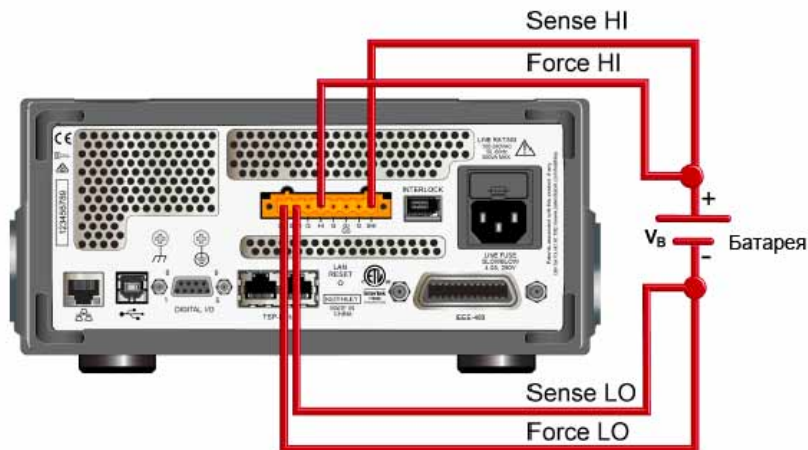
На рисунке ниже показаны соединения с разъемами на передней панели. Эти соединения можно сделать с помощью четырех кабелей типа «банан», рассчитанных на работу с максимальным током (7 A), например, двух наборов Keithley Instruments Model 8608 High-Performance Clip Lead Set.

Рисунок 26: Подключение к разъемам на передней панели модели 2460 для заряда-разряда батареи



На рисунке ниже показаны соединения с разъемами на задней панели. Соединения выполняются с помощью комплекта разъемов Model 2460-KIT Screw-Terminal Connector Kit (входит в комплект поставки модели 2460) или комплекта Model 2460-BAN Banana Test Leads/Adapter Cables (с соответствующими устройствами для подключения к прибору).

Рисунок 27: Подключение к разъемам на задней панели модели 2460 для заряда-разряда батареи



Автоматизированная проверка цикла заряда-разряда батареи

Циклы заряда и разряда батареи часто длятся по несколько часов, поэтому важна автоматизация проверки. В примере ниже демонстрируется использование модели 2460 для проверки разряда батареи с помощью команд SCPI или TSP в автоматическом режиме.

Во время данного измерения выполняются следующие операции:

- Сброс прибора.
- Настройка измерения на четырехпроводную схему.
- Настройка прибора на воспроизведение напряжения и измерение тока.
- Выбор режима отключенного вывода с высоким сопротивлением (High-Z), который открывает выходное реле, когда вывод отключен. Выбор этого режима необходимо сделать до подключения батареи к выходу прибора. Это предотвращает разряд батареи, когда она подключена к прибору с отключенным выводом.
- Настройка предельного тока на значение, используемое при заряде/разряде батареи, что для данного теста является током нагрузки. Хотя модель 2460 выдает напряжение, она работает в режиме постоянного тока, поскольку находится в режиме ограничения тока до тех пор, пока не достигнет желаемого напряжения.
- Включение эхосчитывания с источника, чтобы позволить модели 2460 измерять напряжение батареи, пока она заряжается или разряжается.
- Снятие показаний тока нагрузки, показаний эхосчитывания источника напряжения и относительной временной метки.
- Отслеживание напряжения до тех пор, пока напряжение батареи не достигнет желаемого уровня, и остановка проверки.

Чтобы зарядить батарею, настройте модель 2460 на вывод напряжения, равного номинальному напряжению батареи. Например, чтобы зарядить батарею на 10 В, настройте модель 2460 на вывод 10 В. При приближении заряда батареи к полному ток будет уменьшаться до тех пор, пока не достигнет нулевого или близкого к нулю значения (батарея заряжена).

Чтобы разрядить батарею, настройте модель 2460 на вывод напряжения меньшей величины, чем номинал батареи, и задайте режим отключенного вывода с высоким сопротивлением. В этой схеме модель 2460 будет работать как потребитель энергии и разряжать батарею. Ток из батареи течет в модель 2460 через клемму HI, что приводит к отрицательным значениям измеренного тока. Пока батарея разряжается, ток остается постоянным.

Настройка удаленного взаимодействия

Данная процедура выполняется в дистанционном режиме с помощью любого из поддерживаемых прибором типов интерфейса связи (GPIB, USB или Ethernet).

На следующем рисунке показано расположение на задней панели разъемов для подключения удаленных интерфейсов связи. Подробнее о настройке и удаленному взаимодействию см. в разделе «[Интерфейсы для удаленного взаимодействия](#)» (на стр. 3-1).

Рисунок 28: Схема подключения модели 2460 к интерфейсам удаленной связи



Настройка параметров работы с батареей с помощью команд SCPI

Код SCPI, приведенный в данной главе, содержит операции по разряду полностью заряженной батареи 1,2 В (2500 мА·ч) до 0,9 В. Модель 2460 настраивается на воспроизведение напряжения и измерение тока. А именно, вывод напряжения устанавливается на 0,9 В, а ограничение вывода – на 2,5 А. Прибор возвращает значения напряжения, тока и соответствующую временную метку. Измерения производятся до тех пор, пока напряжение не достигнет заданного уровня.

ПРИМЕЧАНИЕ

Уровни тока и напряжения могут быть иными и устанавливаются в соответствии с параметрами тестируемой батареи.

При изучении следующего примера кода обратите внимание на часть, помеченную как «псевдокод». Код, используемый для замены псевдокода, будет зависеть от вашего программного окружения.

Отправьте следующие команды для выполнения этого примера:

Команда SMU или псевдокод	Команды	Описание
Команда SMU	<pre> OUTP:SMOD HIMP SENS:CURR:RSEN ON SOUR:FUNC VOLT SOUR:VOLT 0.9 ROUT:TERM REAR SOUR:VOLT:READ:BACK ON SOUR:VOLT:RANG 2 SOUR:VOLT:ILIM 2.5 SENS:FUNC "CURR" SENS:CURR:RANG 4 OUTP ON </pre>	<ul style="list-style-type: none"> • Включить режим выхода с высоким сопротивлением. • Настроить на режим 4-хпроводной схемы. • Настроить на вывод напряжения. • Настроить источник на 0.9 В. • Выбор режима подключения к разъемам на задней панели • Включить эхосчитывание источника. • Настроить на диапазон вывода 2 В. • Установить предел источника 2,5 мА. • Настроить на измерение тока. • Установить предельный ток 4 А. • Включить выход.
Псевдокод	<pre> iteration = 1 voltLimit = 0.9001 current = [] voltage = [] seconds = [] hours = [] while true do: </pre>	<ul style="list-style-type: none"> • Создать переменную <code>iteration</code> и инициализировать ее 1. • Создать переменную <code>voltLimit</code> и инициализировать ее на 0.9001. • Создать пустой массив для измерений тока. • Создать пустой массив для измерений напряжения. • Создать пустой массив для значений времени. • Начать цикл <code>while</code>.
Команда SMU	<pre> current[iteration] = READ? "defbuffer1" voltage[iteration] = TRAC:DATA? iteration, iteration, "defbuffer1", SOUR seconds[iteration] = TRAC:DATA? iteration, iteration, "defbuffer1", REL </pre>	<ul style="list-style-type: none"> • Добавить значение тока в массив <code>current</code>. • Добавить значение напряжения в массив <code>voltage</code>. • Добавить значение времени в массив <code>seconds</code>.
Псевдокод	<pre> hours[iteration] = seconds[iteration]/3600 print(voltage[iteration], current[iteration], hours[iteration]) if voltage[iteration] <= voltLimit then: break end if iteration = iteration + 1 delay(10) end while </pre>	<ul style="list-style-type: none"> • Рассчитать количество часов, затраченных на каждую итерацию. • Распечатать измеренные значения. • Сравнить показания напряжения из этой итерации с предельным напряжением. Если измеренное значение меньше или равно предельному, то выйти из цикла. • Конец оператора <code>if</code>. • Увеличить счетчик итераций на 1. • Задержка на 10 секунд. • Завершить цикл <code>while</code>.
Команда SMU	<pre> OUTP OFF </pre>	<ul style="list-style-type: none"> • Выключить вывод.

Настройка параметров работы с батареей с помощью команд TSP

ПРИМЕЧАНИЕ

Следующий код TSP спроектирован для запуска с помощью Keithley Instruments Test Script Builder (TSB, средство построения сценариев тестирования). TSB – это программное обеспечение, доступное для скачивания с веб-сайта Keithley Instruments. TSB позволяет создавать код и разрабатывать сценарии для приборов, поддерживающих работу с TSP. Подробнее об использовании TSB см. в онлайн-справке к TSB и в разделе «Введение в работу с TSP» «Справочного руководства к модели 2460».

Для использования в других программных окружениях может понадобиться внести изменения в TSP код этого примера.

По умолчанию модель 2460 настроена на использования набора команд SCPI. Перед отправкой команд TSP на прибор необходимо выбрать набор команд TSP в качестве используемого.

Чтобы разрешить команды TSP:

1. Нажмите клавишу **MENU**.
2. Под System выберите **Settings**.
3. В поле Command Set выберите **TSP**.
4. Вам будет предложено перезагрузиться. Выберите **Yes**.

Код TSP в этом примере позволяет настроить модель 2460 на воспроизведение напряжения и измерение тока. Для разряда полностью заряженной батареи 1,2 В вывод напряжения устанавливается на 0,9 В, а предельное значение для вывода устанавливается равным 2,5 мА. Прибор возвращает значения напряжения, тока и соответствующую временную метку. Измерения производятся до тех пор, пока напряжение не достигнет заданного уровня. Во время проверки эти измерения отображаются на дополнительном экране USER внизу экрана (см. рисунок после примера кода).

ПРИМЕЧАНИЕ

Уровни тока и напряжения могут быть иными и устанавливаются в соответствии с параметрами тестируемой батареи.

Код TSP, рассматриваемый в данном примере, также предусматривает сохранение всех показаний тока, напряжения и времени на USB-флеш-накопитель, подключенный к соответствующему разъему на передней панели модели 2460.

ПРИМЕЧАНИЕ

Перед подключением батареи к выходным клеммам модели 2460 выполните следующие операции, чтобы подготовить модель 2460 к тестированию.

Выполните сброс настроек прибора:

1. Нажмите клавишу **MENU**.
2. В меню System выберите Manage.
3. Выберите System Reset > OK.

Установите режим отключенного вывода с высоким импедансом:

1. Нажмите клавишу **MENU**.
2. В столбце Source выберите **Settings**.
3. Выберите кнопку рядом с Output Off и выберите **High Impedance**. В этом режиме прибор открывает выходное реле, когда вывод отключен, что предотвращает разряд батареи.

Отправьте следующие команды TSP для выполнения этого примера:

```
--Выполнение данного кода позволяет разрядить батарею 250 мАч 1,2 В до 0,9 В с помощью
разряжающего тока 2,5 А (1С).
--Перед использованием данного кода выполните сброс прибора с помощью органов управления
на передней панели и установите модель 2460 в режим отключенного вывода с высоким
импедансом (High Z). Также установите USB-флеш-накопитель в соответствующий USB-порт на
передней панели для сохранения показаний.

--Очистка буфера.
defbuffer1.clear()
--Настройки измерения.
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.measure.range = 2.5
smu.measure.sense = smu.SENSE_4WIRE
--Настройки источника.
smu.source.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
smu.source.offmode = smu.OFFMODE_HIGHZ
smu.source.level = 0.9
smu.measure.terminals = smu.TERMINALS_REAR
smu.source.range = 0.9
smu.source.readback = smu.ON
smu.source.ilimit.level = 2.5

--Настройка предельного напряжения, на котором батарея прекратит заряжаться.
--Настройка переменной для числа итераций.
voltLimit = 0.9001
iteration = 1
--Включить вывод сигнала.
smu.source.output = smu.ON
--Переключить экран на дополнительный экран USER.
display.changescreen(display.SCREEN_USER_SWIPE)
--Продолжать снимать показания в цикле while, пока измеренное напряжение
--не станет равным предельному напряжению.
while true do
  --Снять показание и получить значения тока, напряжения
  --и относительной временной метки.
  curr = smu.measure.read(defbuffer1)
  volt = defbuffer1.sourcevalues[iteration]
  time = defbuffer1.relativetimestamps[iteration]
  hours = time/3600
  --Сравнить измеренное напряжение с предельным напряжением.
  --Завершить цикл, если достигнуто предельное напряжение.
  if volt <= voltLimit then
    break
  end
  --Распечатать число завершенных циклов, напряжение и время для
  --этой итерации. Отобразить сведения на передней панели.
  print("Completed Cycles: ",iteration, "Voltage: ", volt, "Time: ", time)
  display.settext(display.TEXT1, string.format("Voltage = %.4fV", volt))
  display.settext(display.TEXT2, string.format("Current = %.2fA, Time = %.2fHrs",
curr, hours))
  --Increment the number of iterations and wait 10 seconds.
  iteration = iteration + 1
  delay(10)
end
--Отключить вывод сигнала, если достигнуто предельное напряжение.
smu.source.output = smu.OFF
--Сохранить результаты измерения на USB-флеш-накопитель.

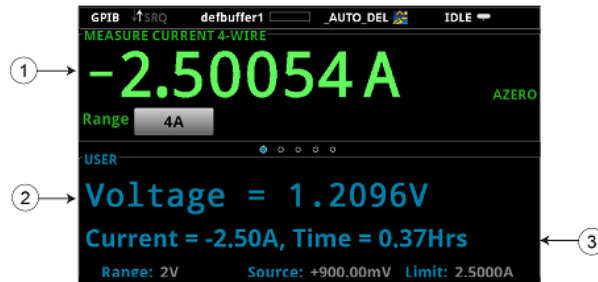
FileNumber = file.open("/usb1/TestData.csv", file.MODE_WRITE)
file.write(FileNumber, "Current,Voltage,Seconds\n")
--Распечатать результаты измерения в 4 столбца.
```

```

print("\nIteration:\tCurrent:\tVoltage:\tTime:\n")
for i = 1, defbuffer1.n do
  print(i, defbuffer1[i], defbuffer1.sourcevalues[i],
  defbuffer1.relativetimestamps[i])
  file.write(FileNumber, string.format("%g,%g, %g\r\n",defbuffer1.readings[i],
  defbuffer1.sourcevalues[i],defbuffer1.relativetimestamps[i]))
end
--Закреть файл .csv
file.close(FileNumber)

```

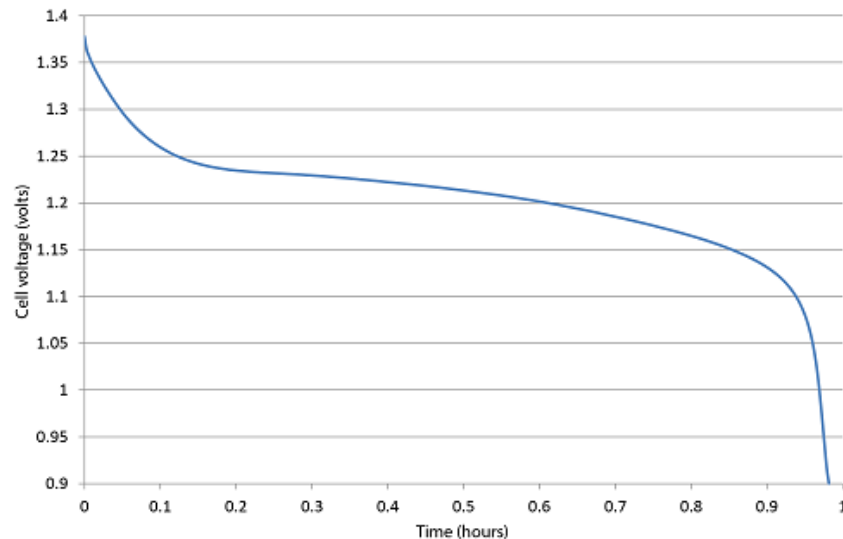
Рисунок 29: Отображение результатов проверки на дополнительном экране USER



1	Измеренный ток нагрузки
2	Измеренное напряжение батареи
3	Значение источника и продолжительность проверки

Рисунок 30: Результаты проверки разряда батареи

Батарея 2500 мАч типа D
Разряд током 2500 мА (1 C)



Вольтамперная развертка для светодиодов с использованием ПО KickStart

Содержание раздела:

Введение	7-1
Необходимое оборудование.....	7-1
Настройка удаленного взаимодействия	7-2
Подключение устройств	7-2
Вывод вольтамперной развертки с использованием KickStart.....	7-4

Введение

В данном разделе демонстрируется процедура выполнения вольтамперной развертки для светодиодов повышенной яркости с использованием программного обеспечения Keithley KickStart и модели 2460. ПО KickStart позволяет выполнять настройку прибора и запускать тестирование без создания специального кода. Данные, полученные с помощью KickStart, могут быть представлены в графическом или табличном виде. Результаты измерения можно также сохранить в файле формата .csv.

В рассматриваемом примере ПО KickStart используется для настройки модели 2460 на воспроизведение напряжения и измерение результирующего тока при тестировании светодиода повышенной яркости. После этого будет запущено тестирование с последующим отображением результатов в графическом виде.

Необходимое оборудование

- Один прибор модели 2460 High-Current Interactive SourceMeter®
- ПО Keithley KickStart Startup Software версии 1.4 или выше, установленное на используемом компьютере; указанное ПО доступно для скачивания на веб-сайте Keithley Instruments в разделе Support (<http://www.keithley.com/support>)
- Для подключения к передней панели воспользуйтесь четырьмя изолированными кабелями типа «банан», такими как Keithley Instruments Model 8608 High-Performance Clip Lead Set (один комплект поставляется с моделью 2460, второй приобретается отдельно).
- Для подключения к задней панели используйте 1 комплект разъемов Model 2460-KIT Screw-Terminal Connector Kit (входит в комплект поставки модели 2460) или комплект Model 2460-BAN Banana Test Leads/Adapter Cables (с соответствующими устройствами для подключения к прибору).
- Один кабель GPIB, USB или Ethernet для подключения модели 2460 к компьютеру
- Один светодиод повышенной яркости

Настройка удаленного взаимодействия

Данная процедура выполняется в дистанционном режиме с помощью любого из поддерживаемых прибором типов интерфейса связи (GPIB, USB или Ethernet).

На следующем рисунке показано расположение на задней панели разъемов для подключения удаленных интерфейсов связи. Подробнее о настройке и удаленному взаимодействию см. в разделе «[Интерфейсы для удаленного взаимодействия](#)» (на стр. 3-1).

Рисунок 31: Схема подключения модели 2460 к интерфейсам удаленной связи



Подключение устройств

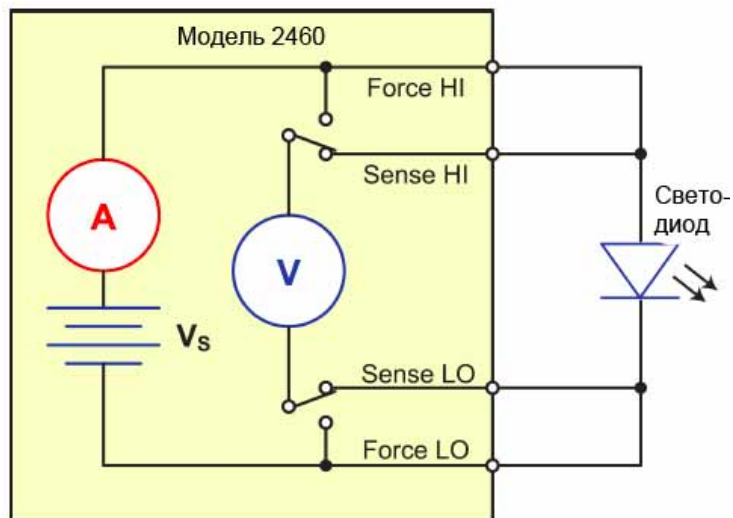
Для достижения максимальной точности результатов измерения и исключения влияния сопротивления подводящих элементов на точность измерения при выводе сильных токов подключите модель 2460 к проверяемому устройству по четырехпроводной схеме.

Для того чтобы применить четырехпроводной метод:

- Подключите выводы FORCE HI и SENSE HI к анодной клемме светодиода.
- Подключите выводы FORCE LO и SENSE LO к катодной клемме светодиода.
- Выполните подключение максимально близко к проверяемому устройству, чтобы исключить влияние сопротивления подводящих элементов на точность измерения.

На рисунке ниже показана схема для проверки светодиода повышенной яркости.

Рисунок 32: Подключение модели 2460 к светодиоду по четырехпроводной схеме



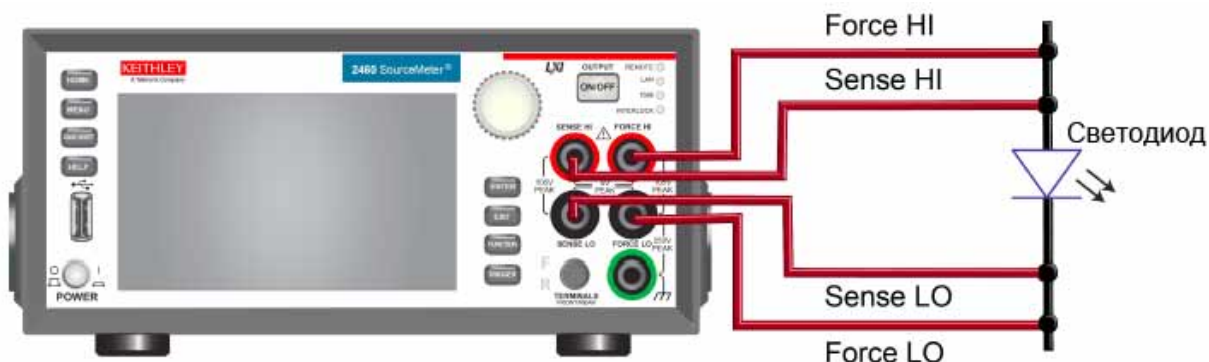
На следующих рисунках показаны физические соединения для передней и задней панелей. Обратите внимание, что вы можете использовать клеммы либо на передней, либо на задней панели, но смешивать соединения нельзя.

На рисунке ниже показаны соединения с передней панелью. Вы можете сделать эти соединения с помощью четырех изолированных кабелей с разъемом типа «банан», рассчитанных на работу с максимальным током (7 A), например, с помощью двух наборов Keithley Instruments Model 8608 High-Performance Clip Lead Set.

ПРИМЕЧАНИЕ

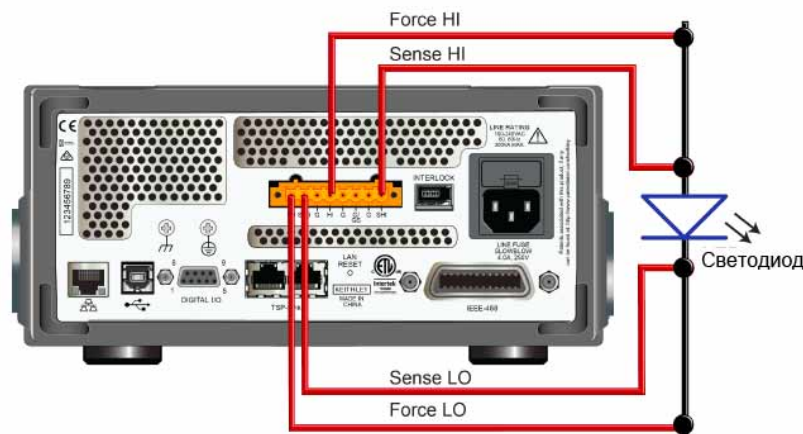
Перед присоединением проверяемого устройства к модели 2460 отключите её питание.

Рисунок 33: Подключение светодиода к разъемам на передней панели модели 2460 по четырехпроводной схеме



На рисунке ниже показаны соединения с разъемами на задней панели. Соединения выполняются с помощью комплекта разъемов Model 2460-KIT Screw-Terminal Connector Kit (входит в комплект поставки модели 2460) или комплекта Model 2460-BAN Banana Test Leads/Adapter Cables (с соответствующими устройствами для подключения к прибору).

Рисунок 34: Подключение светодиода к разъемам на задней панели модели 2460 по четырехпроводной схеме



Вывод вольтамперной развертки с использованием ПО KickStart

Данный пример демонстрирует использование ПО KickStart Startup для генерации вольтамперной развертки при тестировании светодиода повышенной яркости.

Во время данного измерения будут выполняться следующие операции:

- Запуск ПО KickStart
- Создание нового измерительного проекта
- Выбор прибора
- Выбор типа теста
- Настройка параметров теста
- Настройка и просмотр графического экрана
- Запуск теста
- Просмотр и сохранение результатов измерения

Настройка модели 2460 для работы с ПО KickStart

Модель 2460 необходимо настроить на использование команд Test Script Processor (TSP®) до начала работы с ПО KickStart. По умолчанию модель 2460 настроена на использования набора команд SCPI. Перед отправкой команд TSP на прибор необходимо выбрать набор команд TSP в качестве используемого.

Активизация режима использования команд TSP:

1. Нажмите клавишу **MENU**.
2. Под System выберите **Settings**.
3. Выберите кнопку рядом с Command Set и выберите **TSP**.
4. Вам будет предложено перезагрузиться. Выберите **Yes**.

Запуск ПО KickStart и настройка параметров теста

После подсоединения сигнального кабеля к компьютеру и включения режима использования команд TSP прибор готов к работе с ПО KickStart.

Процедура создания нового измерительного проекта:

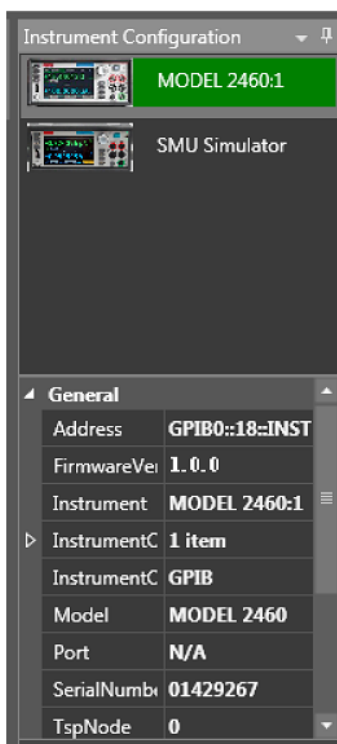
1. Запустите ПО KickStart. На экране отображается стартовая страница, как показано на рисунке ниже.

Рисунок 35. Стартовая страница ПО KickStart Startup



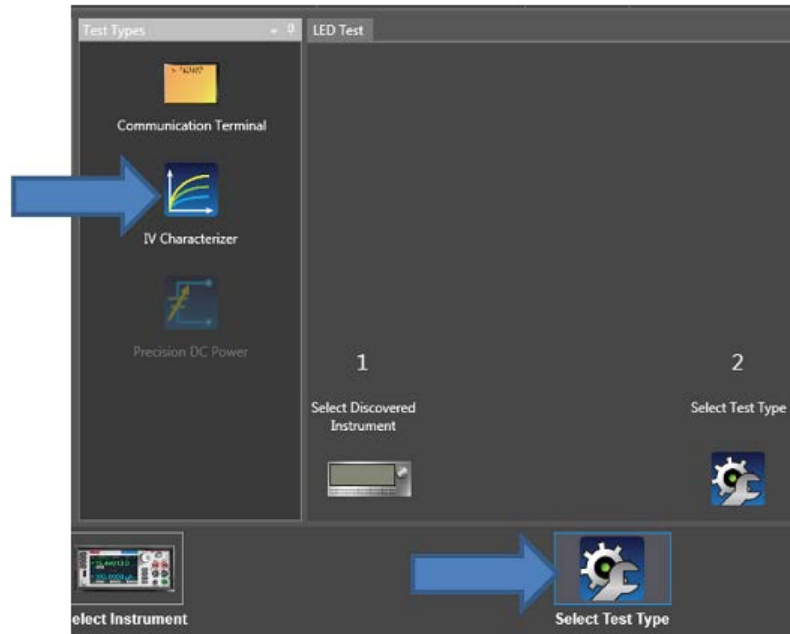
2. На стартовой странице щелкните по **New KickStart Test**. На экране отобразится диалоговое окно **Save As**.
3. Перейдите к месту, которое будет использоваться для сохранения измерительных проектов (необходимости в создании папки нет, это будет сделано KickStart). Также можно использовать место, устанавливаемое по умолчанию для сохранения проектов KickStart: C:\Users\My Documents\Keithley Instruments\KickStart.
4. Введите название теста и щелкните по **Save**. Тест будет сохранен как файл с расширением **.kst** в папке с названием измерительного проекта.
5. Щелкните по **Select Instrument** в нижнем левом углу экрана. При правильной настройке модели 2460 информация о ней появляется в окне **Instrument Configuration**.
6. Правой кнопкой мыши щелкните по **Model 2460:1** и выберите **Add Instrument**. Информация о подключенной модели 2460 автоматически отображается в нижней части окна **Instrument Configuration**.

Рисунок 36: Выбор прибора в окне Instrument Configuration



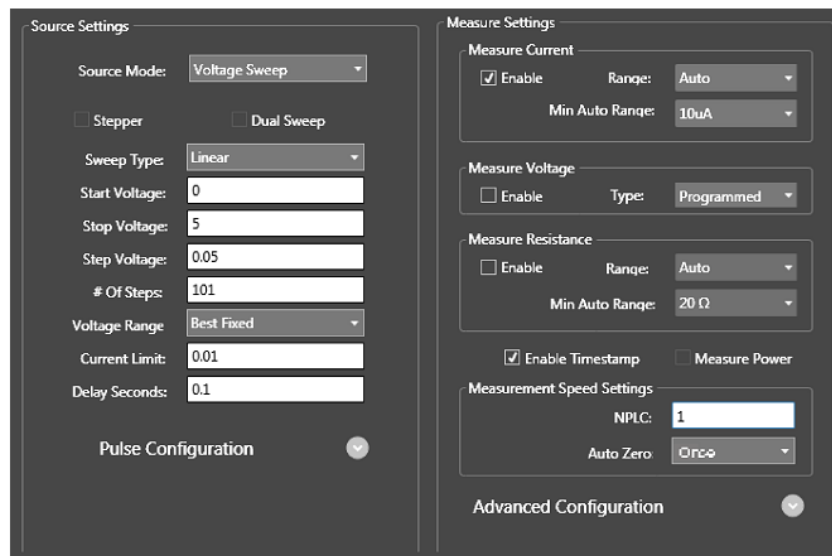
7. В нижней части экрана щелкните по **Select Test Types**. В левой части экрана открывается окно Test Types, в котором перечисляются доступные типы тестирования.

Рисунок 37: Выбор типов теста



8. Щелчком правой кнопкой мыши щелкните по **IV Characterizer** и выберите **Add Test Type**. На экран будет выведено окно Source Measure Settings (настройки воспроизведения (Source Settings) и измерения (Measure Settings)).

Рисунок 38: Экран настройки параметров воспроизведения и измерения в ПО KickStart



9. Используя значения из таблиц ниже, укажите параметры воспроизведения и измерения для данного теста (значения могут варьироваться в зависимости от решаемой задачи).

Настройки воспроизведения сигнала

Параметр	Величина
Source Mode/ Режим вывода	Voltage Sweep / Развертка напряжения
Sweep Type / Тип развертки	Linear / Линейный
Start Voltage / Начальное напряжение	2
Stop Voltage/ Конечное напряжения	3.7
Step Voltage / Ступенчатое напряжение	0.05
# Of Steps / Число шагов	Автоматически заполняется с учетом настройки ступенчатого напряжения. Для данного примера эта величина составляет 35.
Current Limit / Предельный ток	7
Delay Seconds / Задержка в секундах	0.01

Настройки измерения сигнала

Параметр	Величина
Current Measure / Измерение тока	Enabled, Auto Range/Включено, автодиапазон
Voltage Measure / Измерение напряжения	Enabled, Programmed Value/ Включено, программируемое значение

10. В нижней части колонки Measure Settings выберите кнопку рядом с Advanced Configuration и установите параметры, перечисленные в таблице ниже.

Дополнительные настройки

Параметр	Настройка
Input Jacks / Входные разъемы	Rear / На задней панели
Sensing Mode / Схема	4-wire / Четырехпроводная
Output OFF State /Состояние отключенного вывода	Normal / Нормальное
High Capacitance /Высокая емкость	Off / Выкл.
Offset Compensation / Компенсация смещения	Off / Выкл.

11. Для настройки параметров отображения перейдите к вкладке **Graph**.
12. Щелкните по кнопке рядом с осью X (X-Axis) и выберите **Smu1.v** (вывод напряжения)
13. Щелкните по кнопке рядом с осью Y (Y-Axis) и выберите **Smu1.I** (измерение тока)

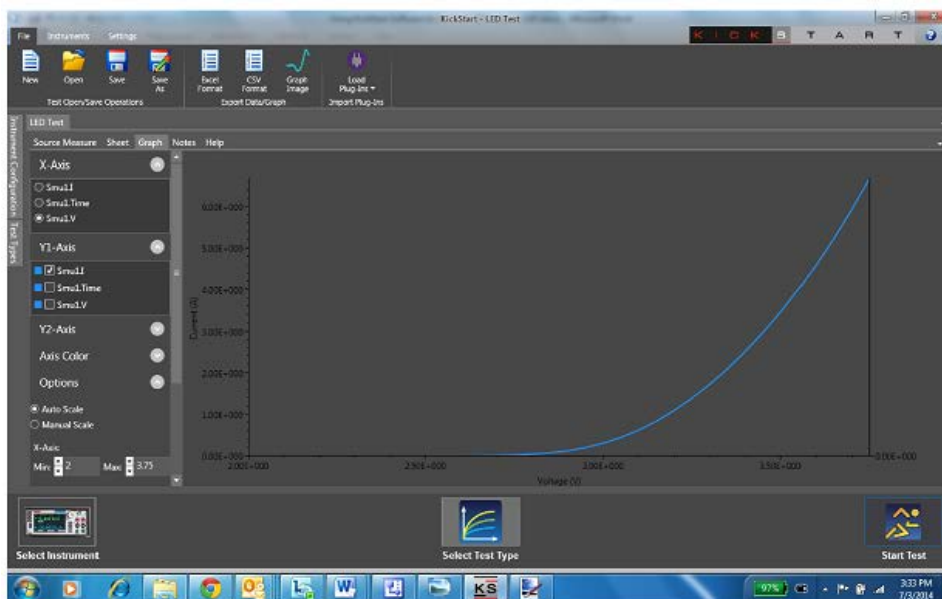
Теперь можно запускать выполнение теста.

Запуск теста и просмотр результатов в графическом формате

Для запуска теста выберите **Start Test** в нижнем правом углу экрана. Вольтамперная развертка выполняется автоматически, а результаты измерения отображаются в режиме реального времени на графическом экране. Масштаб представления данных изменяется автоматически с продвижением тестирования.

На рисунке ниже показан результат выполнения данного примера.

Рисунок 39. Результаты вольтамперной развертки для тестирования светодиода с повышенной яркостью



Для сохранения графика в формате .png щелкните по **Graph Image** в области Export Data/Graph в верхней части экрана.

Просмотр и сохранение результатов измерения в табличной форме.

Результаты измерения можно также просмотреть в табличном виде. Для этого выберите вкладку **Sheet**. На рисунке ниже показаны результаты измерения в табличном виде.

Рисунок 40. Результаты измерения в табличном виде (выбрана вкладка Sheet)

Item	Smu1.Time[1][1]	Smu1.V[1][1]	Smu1.I[1][1]
1	0.000000E+000	2.000000E+000	1.280200E-004
2	2.717550E-002	2.050000E+000	1.341607E-004
3	5.431850E-002	2.100000E+000	1.414454E-004
4	8.145550E-002	2.150000E+000	1.500854E-004
5	1.085975E-001	2.200000E+000	1.623025E-004
6	1.357845E-001	2.250000E+000	1.819442E-004
7	1.629722E-001	2.300000E+000	2.171538E-004
8	1.901312E-001	2.350000E+000	2.886312E-004
9	2.172862E-001	2.400000E+000	4.363664E-004
10	2.444202E-001	2.450000E+000	7.404344E-004
11	3.805392E-001	2.500000E+000	1.354162E-003
12	4.076947E-001	2.550000E+000	2.515749E-003
13	4.348902E-001	2.600000E+000	4.647861E-003
14	4.620527E-001	2.650000E+000	8.393075E-003

Для экспорта данных в виде файла .csv или .xls щелкните по **Excel Format** или **CSV Format** в области Export Data/Graph в верхней части экрана.

Измерение вольтамперной характеристики солнечной батареи

Содержание раздела:

Введение	8-1
Необходимое оборудование.....	8-1
Настройка удаленного взаимодействия	8-2
Подключение устройств	8-2
Снятие характеристик солнечной батареи.....	8-4

Введение

В данном разделе демонстрируется использование модели 2460 Interactive SourceMeter® для измерения вольтамперных характеристик солнечной батареи.

По вольтамперным характеристикам, измеренным моделью 2460, можно определить важные параметры солнечной батареи, включая:

- Ток (I_{max}) и напряжение (V_{max}), при котором достигается максимальная выходная мощность
- Максимальная выходная мощность (P_{max})
- Напряжение холостого хода (V_{oc})
- Ток короткого замыкания (I_{sc})

Так как модель 2460 поддерживает режим четырехквадрантного источника тока, то она может потреблять до 7 А тока элемента солнечной батареи в зависимости от прикладываемого напряжения.

Необходимое оборудование

- Один прибор модели 2460 Interactive SourceMeter®
- Для подключения к передней панели воспользуйтесь четырьмя изолированными кабелями типа «банан», такими как Keithley Instruments Model 8608 High-Performance Clip Lead Set (один комплект поставляется с моделью 2460, второй приобретается отдельно).
- Для подключения к задней панели используйте 1 комплект разъемов Model 2460-KIT Screw-Terminal Connector Kit (входит в комплект поставки модели 2460) или комплект Model 2460-BAN Banana Test Leads/Adapter Cables (с соответствующими устройствами для подключения к прибору).
- Одна солнечная батарея

Настройка удаленного взаимодействия

Выполнение данного примера возможно с помощью органов управления на передней панели, либо любого из поддерживаемых прибором типов интерфейса связи (GPIB, USB или Ethernet).

На следующем рисунке показано расположение на задней панели разъемов для подключения удаленных интерфейсов связи. Подробнее о настройке и удаленному взаимодействию см. в разделе «[Интерфейсы для удаленного взаимодействия](#)» (на стр. 3-1).

Рисунок 41: Схема подключения модели 2460 к интерфейсам удаленной связи



Подключение устройств

Для достижения максимальной точности результатов измерения и устранения негативного воздействия сопротивления подводящих элементов на точность измерения при выводе сильных токов подключите модель 2460 к солнечной батарее по четырехпроводной схеме.

Для того чтобы применить четырехпроводной метод:

- Подключите выводы FORCE LO и SENSE LO к катодной клемме.
- Подключите выводы FORCE HI и SENSE HI к анодной клемме.
- Выполните подключение максимально близко к солнечной батарее, чтобы исключить влияние сопротивления подводящих элементов на точность измерения.

Для выполнения рассматриваемого измерения можно использовать как разъемы на передней панели, так и на задней панели.

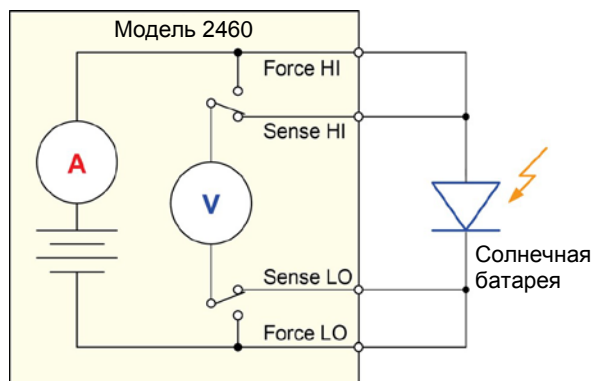
⚠ ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ

На всех выходных клеммах и клеммах защиты может присутствовать опасное напряжение. Чтобы избежать поражения электрическим током, которое может нанести вред здоровью или привести к смерти, никогда не соединяйте и не разрывайте связи с моделью 2460 при включенном выводе сигнала.

Чтобы избежать поражения электрическим током, соединения устройств для проведения теста должны быть спроектированы таким образом, чтобы исключить возможность соприкосновения пользователя с токоведущими жилами или с проверяемым устройством, которое находится в контакте с токоведущими жилами. Настоятельно рекомендуется отключать от прибора проверяемое устройство перед подачей питания на прибор. Для обеспечения безопасности эксплуатации установки потребуются экраны, барьеры и заземление, чтобы исключить возможность контакта с токоведущими жилами.

На рисунке ниже показана схема подключения для выполнения рассматриваемого измерения.

Рисунок 42: Подключение модели 2460 к элементу солнечной батареи



На рисунках ниже показаны физические соединения с разъемами на передней и задней панели. Для выполнения данной задачи можно использовать клеммы либо на передней панели, либо на задней панели, но смешивать соединения нельзя.

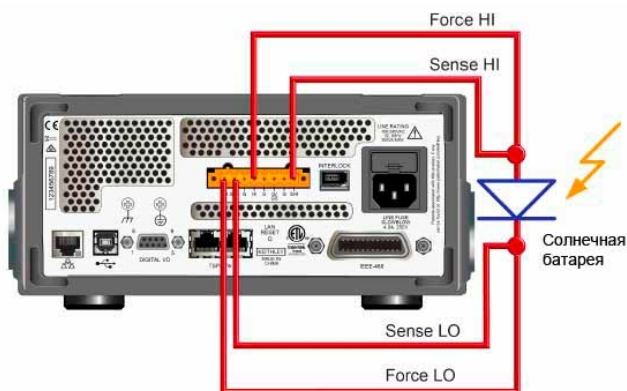
На рисунке ниже показаны соединения с передней панелью. Вы можете выполнить эти соединения с помощью четырех изолированных кабелей с разъемом типа «банан», рассчитанных на работу с максимальным током (7 A), например, с помощью двух наборов Keithley Instruments Model 8608 High-Performance Clip Lead Set.

Рисунок 43: Подключение к разъемам на передней панели модели 2460 по четырехпроводной схеме



На рисунке ниже показаны соединения с разъемами на задней панели. Соединения выполняются с помощью комплекта разъемов Model 2460-KIT Screw-Terminal Connector Kit (входит в комплект поставки модели 2460) или комплекта Model 2460-BAN Banana Test Leads/Adapter Cables (с соответствующими устройствами для подключения к прибору).

Рисунок 44: Подключение к разъемам на задней панели модели 2460 по четырехпроводной схеме



Снятие характеристик солнечной батареи

В примерах, рассматриваемых ниже, демонстрируется использование модели 2460 для снятия характеристик солнечной батареи с помощью органов управления на передней панели, по удаленному интерфейсу с использованием кода SCPI и TSP.

При проведении данного теста выполняются следующие операции:

- Сброс прибора.
- Выбор режима воспроизведения напряжения и измерения тока.
- Установка предельного тока.
- Выбор четырехпроводной схемы.
- Настройка и запуск развертки напряжения.
- Запуск модели запускающего сигнала для включения вывода сигнала.
- Запись результатов измерения.
- Отключение вывода после завершения развертки напряжения.
- Считывание результатов измерения.
- Просмотр данных на графике на передней панели.

ПРИМЕЧАНИЕ

Для выполнения данного измерения потребуется управление источником света; проверка будет сначала выполняться с включенным источником света, а затем с выключенным.

Настройка параметров снятия вольтамперной характеристики с передней панели

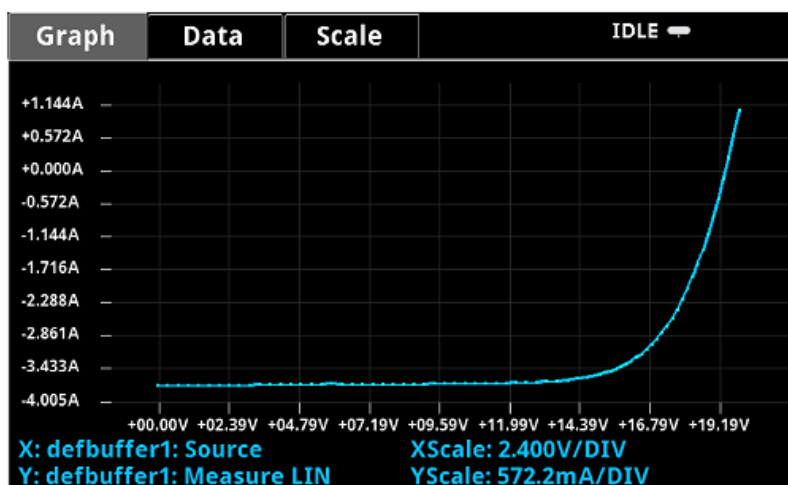
Далее рассматривается процедура снятия вольтамперной характеристики, во время выполнения которой напряжение меняется от 0 В до 20 В за 115 шагов и измеряется результирующий ток. После этого полученные данные можно просмотреть в виде графика на передней панели.

Выполнение измерения с передней панели:

1. Произведите подключение прибора к проверяемому устройству так, как описано в п. «[Подключение устройств](#)» (на стр. 5-2, стр. 8-2).
2. Нажмите выключатель **POWER** на передней панели, чтобы включить прибор.
3. Перезагрузите прибор:
 - a. Нажмите клавишу **MENU**.
 - b. Под System выберите **Manage**.
 - c. Выберите **System Reset**.
 - d. Выберите **OK**.
4. Нажмите клавишу **HOME**.
5. Нажмите клавишу **FUNCTION**.
6. Под Source Voltage and Measure выберите **Current**.

7. Нажмите клавишу **MENU**.
 8. Под Measure выберите **Settings**.
 9. Выберите кнопку рядом с Sense Mode и выберите **4-Wire Sense**.
 10. Нажмите клавишу **MENU**.
 11. Под Source выберите **Sweep**.
 12. Задайте Start level равным 0 V и выберите **OK**.
 13. Задайте Stop level равным 20 V и выберите **OK**.
 14. Выберите кнопку рядом с Definition и установите число точек (**Number of Points**).
 15. Выберите кнопку рядом с Points, введите 115 и выберите **OK**.
 16. Прокрутите экран SWEEP SETTINGS до появления Source Limit.
 17. Выберите кнопку рядом с Source Limit, введите 4 A и выберите **OK**.
 18. Выберите кнопку рядом с Delay и выберите **Specify Delay Manually** (указать задержку вручную).
 19. Введите 50 ms и выберите **OK**.
 20. Выберите **Generate**. Эта настройка позволяет создать модель запуска для развертки.
 21. Нажмите клавишу **MENU**.
 22. Под Measure выберите **Data Buffers**.
 23. Выберите **defbuffer1**, на экране отобразится диалоговое окно с настройками для defbuffer1.
 24. Выберите **Clear Buffer**, выберите **Yes** и выберите **OK**.
 25. Нажмите клавишу **MENU**.
 26. Под View выберите **Graph**.
 27. Нажмите клавишу **TRIGGER**, чтобы запустить модель запуска. Прибор включает вывод сигнала, и в верхней части экрана отображается индикатор RUN, пока выполняется развертка.
 28. Чтобы повторить развертку, нажмите клавишу **TRIGGER** еще раз.
- На рисунке ниже показан пример измерения ВАХ в виде графика на передней панели. Обратите внимание, что ток на графике отрицательный, потому что модель 2460 потребляет ток.

Рисунок 45: Пример измерения характеристик солнечной батареи в виде графика на передней панели модели 2460



Настройка параметров снятия ВАХ солнечной батареи с помощью команд SCPI

Приведенная ниже последовательность команд SCPI позволяет снимать ВАХ солнечной батареи. Возможно, вам потребуется внести в предлагаемый код изменения, чтобы он запустился в вашем программном окружении.

В этом примере напряжение меняется от 0 В до 20 В за 115 шагов и измеряется результирующий ток солнечной батареи. Измерения тока и напряжения записываются в буфер по умолчанию №1 (defbuffer1).

Для выполнения данного измерения отправьте следующие команды:

Команда	Описание
<pre>*RST SENS:FUNC "CURR" SENS:CURR:RANG:AUTO ON SENS:CURR:RSEN ON SOUR:FUNC VOLT SOUR:VOLT:RANG 20 SOUR:VOLT:ILIM 4 SOUR:SWE:VOLT:LIN 0, 20, 115, 0.05 :INIT *WAI TRAC:DATA? 1, 115, "defbuffer1", SOUR, READ</pre>	<ul style="list-style-type: none"> • Сброс модели 2460. • Настроить на измерение тока. • Настроить на измерение с автодиапазоном. • Настроить на использование 4-хпроводной схемы. • Настроить на вывод напряжения. • Задать диапазон источника равным 20 В. • Задать предельный ток равным 4 А. • Настроить на развертку напряжения от 0 до 20 В за 115 шагов с задержкой 0,05 с. • Запустить развертку. • Дождаться завершения развертки. • Считать значения источника и тока из defbuffer1.

Настройка параметров ВАХ солнечной батареи с помощью команд TSP

ПРИМЕЧАНИЕ

Следующий код TSP спроектирован для запуска с помощью Keithley Instruments Test Script Builder (TSB, средство построения сценариев тестирования). TSB – это программное обеспечение, доступное для скачивания с веб-сайта Keithley Instruments. TSB позволяет создавать код и разрабатывать сценарии для приборов, поддерживающих работу с TSP. Подробнее об использовании TSB см. в онлайн-справке к TSB и в разделе «Введение в работу с TSP» «Справочного руководства к модели 2460».

Для использования в других программных окружениях может понадобиться внести изменения в TSP код этого примера.

По умолчанию модель 2460 настроена на использования набора команд SCPI. Перед отправкой команд TSP на прибор необходимо выбрать набор команд TSP в качестве используемого.

Чтобы разрешить команды TSP:

1. Нажмите клавишу **MENU**.
2. Под System выберите **Settings**.
3. Выберите кнопку рядом с Command Set и выберите **TSP**.
4. Вам будет предложено перезагрузиться. Выберите **Yes**.

В этом примере выполняется линейная развертка напряжения с выводом напряжения от 0 В до 20 В за 115 шагов. Прибор во время развертки измеряет результирующий ток солнечной батареи.

Для выполнения данного измерения отправьте следующие команды:

```
--Определить число точек для развертки.
num = 115
--Сбросить прибор и очистить буферы.
reset()
--Настроить режим воспроизведения и измерения.
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.source.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
--Настройки измерения.
smu.measure.terminals = smu.TERMINALS_FRONT
smu.measure.sense = smu.SENSE_4WIRE
smu.measure.autorange = smu.ON
smu.measure.nplc = 1
--Настройки источника.
smu.source.highc = smu.OFF
smu.source.range = 2
smu.source.readback = smu.ON
smu.source.highc = smu.OFF
smu.source.ilimit.level = 4
smu.source.sweeplinear("SolarCell", 0, 20, num, 0.05)
--Запустить модель запускающего сигнала и дождаться ее завершения.
trigger.model.initiate()
waitcomplete()
--Определить начальные значения.
voltage = defbuffer1.sourcevalues
current = defbuffer1
isc = current[1]
mincurr = current[1]
imax = current[1]
voc = voltage[1]
vmax = voltage[1]
pmax = voltage[1]*current[1]
--Рассчитать значения.
for i = 1, num do
    print(voltage[i],current[i],voltage[i]*current[i])
    if (voltage[i]*current[i] < pmax) then
        pmax = voltage[i]*current[i]
        imax = current[i]
        vmax = voltage[i]
    end
    if math.abs(current[i]) < math.abs(mincurr) then
        voc = voltage[i]
    end
end
pmax = math.abs(pmax)
imax = math.abs(imax)
print("Pmax=",pmax," ,Imax=",imax," ,Vmax=",vmax," ,Isc=",isc," ,Voc=",voc)
--Отображение результатов измерения на экране модели 2460.
display.changescreen(display.SCREEN_USER_SWIPE)
display.settext(0, string.format("Pmax = %.4fW", pmax))
display.settext(1, string.format("Isc = %.4fA, Voc = %.2fV", isc, voc))
```

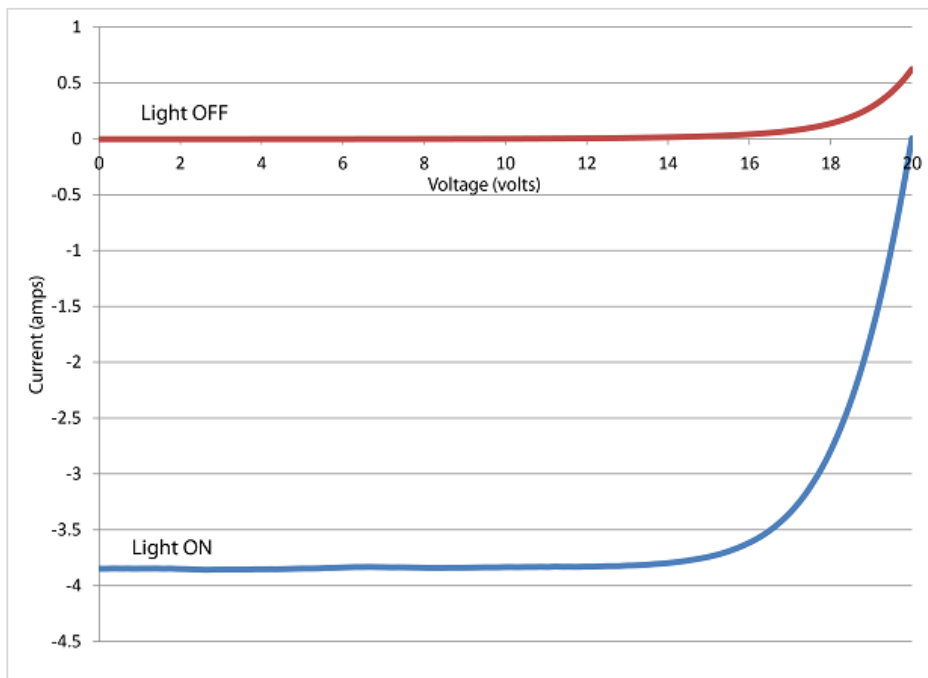
В примере выше прибор запрограммирован на отображение пользовательского текста на дополнительном экране USER с помощью команд `display.changescreen` и `display.settext`. После завершения теста на экране отобразится максимальная выходная мощность (P_{max}), ток короткого замыкания (I_{sc}), напряжение холостого хода (V_{oc}), как показано на рисунке ниже.

Рисунок 46: Результаты снятия ВАХ элемента солнечной батареи на дополнительном экране USER



После запуска кода в консоли прибора (Instrument Console) в Test Script Builder отображается 5 значений, а на экране на передней панели модели 2460 отображается измеренный ток, напряжение и вычисленная мощность. Вы можете скопировать данные, отображаемые на консоли TSB Instrument Console в электронную таблицу, например в Microsoft® Excel®, для построения графика и дальнейшего анализа. На рисунке ниже показаны результаты отображения данных в электронной таблице Excel. Обратите внимание, что проверка солнечной батареи была проведена с включенным источником света (light ON) и с выключенным источником света (light OFF).

Рисунок 47: ВАХ элемента солнечной батареи, полученные с включенным источником света и с выключенным источником света



Вывод группы сильноточных импульсов

Содержание раздела:

Введение	9-1
Необходимое оборудование	9-1
Настройка удаленного взаимодействия	9-2
Подключение устройств	9-2
Подача высокоскоростных сильноточных импульсов в дистанционном режиме	9-4

Введение

В данном разделе демонстрируется использование модели 2460 High-Current Interactive SourceMeter® для генерирования сильноточных импульсов (до 7 А) и измерения напряжения.

Подобные измерения могут быть необходимы в случаях, когда нужно избежать нежелательного самонагрева оборудования, повреждения устройства или проследить реакцию устройства на импульсный сигнал.

В данном примере синхронизация управляется моделью запуска. Минимальная длительность импульса и период могут быть различными, в зависимости от амплитуды тока. При использовании низких токов (менее 1 мкА), возможно, потребуется установить большую длительность импульса, чтобы получить стабильные результаты измерения напряжения. При проверке кода рекомендуется использовать осциллограф для проверки точности синхронизации.

Необходимое оборудование

- Один прибор модели 2460 High-Current Interactive SourceMeter®
- Для подключения к передней панели воспользуйтесь четырьмя изолированными кабелями типа «банан», такими как Keithley Instruments Model 8608 High-Performance Clip Lead Set (один комплект поставляется с моделью 2460, второй приобретается отдельно).
- Для подключения к задней панели используйте 1 комплект разъемов Model 2460-KIT Screw-Terminal Connector Kit (входит в комплект поставки модели 2460) или комплект Model 2460-BAN Banana Test Leads/Adapter Cables (с соответствующими устройствами для подключения к прибору).
- Один кабель GPIB, USB или Ethernet для подключения модели 2460 к компьютеру

Настройка удаленного взаимодействия

Данная процедура выполняется в дистанционном режиме с помощью любого из поддерживаемых прибором типов интерфейса связи (GPIB, USB или Ethernet).

На следующем рисунке показано расположение на задней панели разъемов для подключения удаленных интерфейсов связи. Подробнее о настройке и удаленному взаимодействию см. в разделе «[Интерфейсы для удаленного взаимодействия](#)» (на стр. 3-1).

Рисунок 48: Схема подключения модели 2460 к интерфейсам удаленной связи



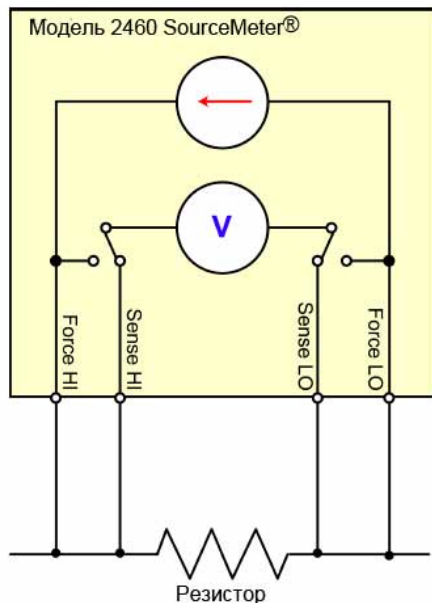
Подключение устройств

Для достижения максимальной точности результатов измерения и влияния сопротивления подводящих элементов на точность измерения при выводе сильных токов подключите модель 2460 к проверяемому устройству по четырехпроводной схеме.

Для того чтобы применить четырехпроводной метод:

- Подключите выводы FORCE HI и SENSE HI к одному выводу проверяемого устройства.
- Подключите выводы FORCE LO и SENSE LO к другому выводу проверяемого устройства.
- Выполните подключение максимально близко к проверяемому устройству, чтобы исключить влияние сопротивления подводящих элементов на точность измерения.

На рисунке ниже показана схема вывода сильноточных импульсов на резистор.

Рисунок 49: Подключение модели 2460 к резистору

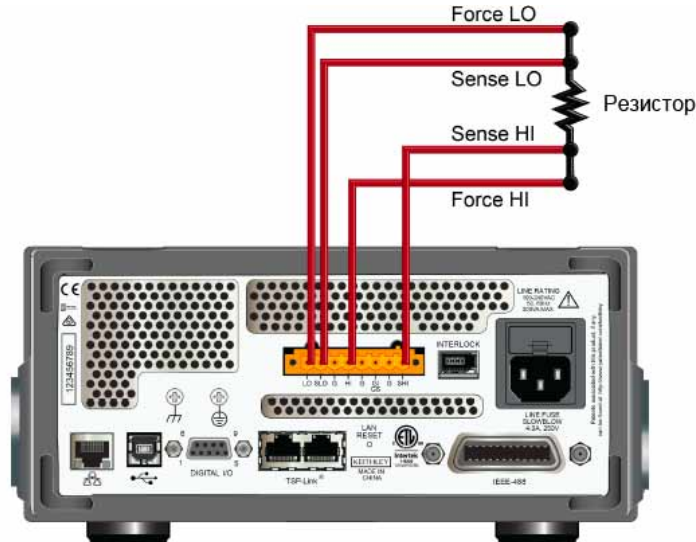
На рисунках ниже показаны физические соединения с разъемами на передней и задней панели. Подключения к разъемам на передней панели осуществляются с помощью защищенных разъемов типа «банан»; подключение к задней панели – на клемму с винтовым креплением.

На рисунке ниже показаны соединения с передней панелью. Вы можете сделать эти соединения с помощью четырех изолированных кабелей с разъемом типа «банан», рассчитанных на работу с максимальным током (7 A), например, с помощью двух наборов Keithley Instruments Model 8608 High-Performance Clip Lead Set (один комплект поставляется с прибором).

Рисунок 50: Подключение к разъемам на передней панели модели 2460 по четырехпроводной схеме

На рисунке ниже показаны соединения с разъемами на задней панели. Соединения выполняются с помощью комплекта разъемов Model 2460-KIT Screw-Terminal Connector Kit (входит в комплект поставки модели 2460) или комплекта Model 2460-BAN Banana Test Leads/Adapter Cables (с соответствующими устройствами для подключения к прибору).

Рисунок 51: Подключение к разъемам на задней панели модели 2460 по четырехпроводной схеме



Подача высокоскоростных сильноточных импульсов в дистанционном режиме

В данном примере рассматривается настройка модели 2460 в дистанционном режиме на генерирование группы сильноточных импульсов с помощью команд Test Script Processor (TSP®). Во время каждого импульса снимается показание напряжения.

Для обеспечения точного управления синхронизацией необходимо указать параметры импульса, выполнить настройки источника тока и измерения напряжения и определить модель запуска для управления синхронизацией импульсов и измерением.

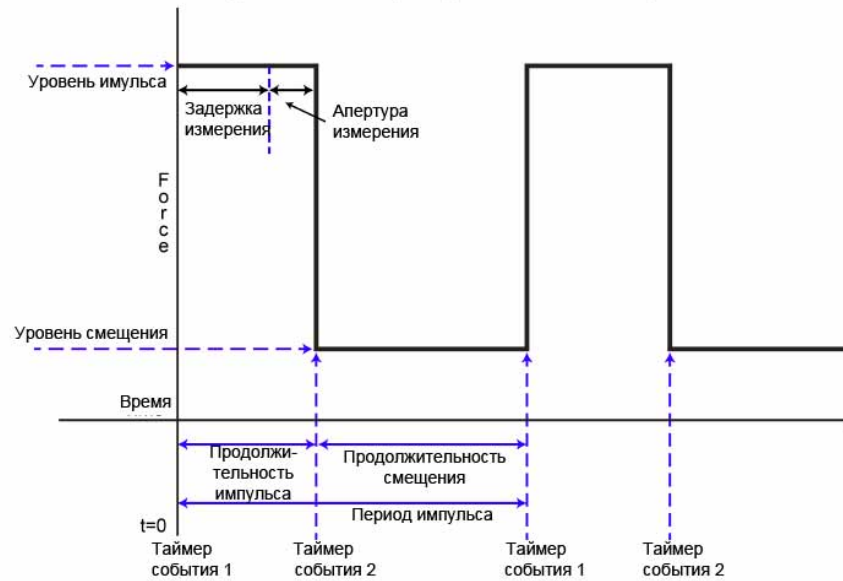
Определение параметров измерения импульсов

При выполнении описываемого примера используются следующие параметры измерения импульсов, определяющие амплитуду и синхронизацию импульса. Фактические величины данных анализируемых параметров зависят от конкретного случая.

Параметр измерения	Величина	Определение
biaslevel	0 A	Настройка тока смещения группы импульсов
pulselevel	6 A	Настройка амплитуды тока каждого импульса от нулевого уровня (не от уровня смещения)
biaswidth	3e-3 s	Установка времени на уровне смещения.
pulsewidth	1e-3 s	Установка времени на уровне амплитуды для каждого импульса.
period	pulsewidth + biaswidth	Указание времени, необходимого для повторения импульса (вычисленное значение в данном примере составляет 4 мс)
points	10	Установка общего числа генерируемых импульсов
limit	7 V	Установка уровня ограничения источника
measuredelay	$\text{pulsewidth} -$ $\left(\frac{1}{\text{localnode.linefreq}} \right)$ $* \text{smu.measure.nplc} + 450\text{e-}6$	Указание времени, в течение которого импульс находится на уровне импульса до того момента, как будет выполнено измерение. Величина 450e-6 является служебным сигналом, связанными с преобразованием «сырых» результатов измерения в показание на экране.

На рисунке ниже демонстрируются указанные параметры измерения.

Рисунок 52: Диаграмма синхронизации для данного примера



Настройка режимов воспроизведения и измерения

Для генерирования высокоскоростных сильноточных импульсов и измерения напряжения во время каждого импульса важно сделать правильные настройки режимов воспроизведения и измерения.

Для сокращения времени измерения:

- Установите диапазон измерения напряжения на фиксированный.
- Установите скорость интегрирования измерения на 0.01 NPLC (166.67 мкс).
- Включите функцию автоматического однократного обнуления для выполнения однократного автоматического обнуления перед началом работы модели запуска.

Для более точного времени воспроизведения сигнала:

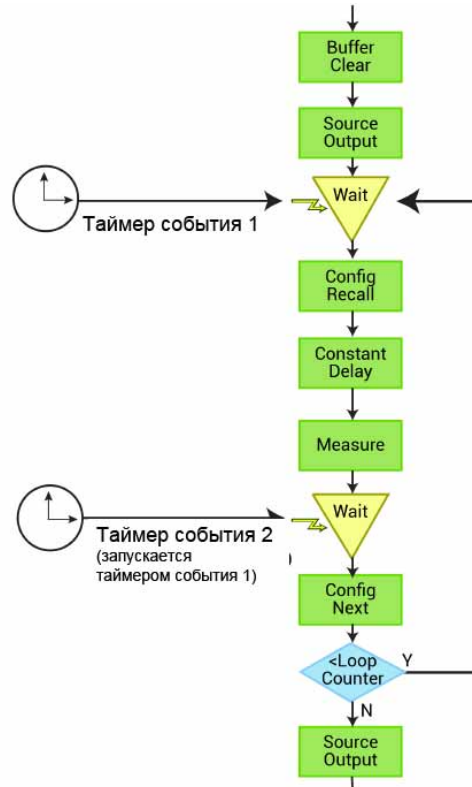
- Отключите функцию эхосчитывания источника.
- При необходимости использования функции эхосчитывания источника необходимо выделить время для двух измерений: измерение напряжения и измерение воспроизведения тока.
- Установите продолжительность задержки воспроизведения на ноль.

В рассматриваемом примере две величины воспроизведения (`pulselevel` и `biaslevel`) сохраняются в списке конфигурации источника `OutputList`. Данный список конфигурации вызывается моделью запуска.

Настройка модели запуска с помощью команд TSP

После настройки режимов воспроизведения и измерения необходимо настроить параметры модели запуска с помощью команд `trigger.model.setblock`. Блоки в модели запуска выполняются последовательно, как показано на рисунке ниже.

Рисунок 53: Блок-схема процесса генерирования группы импульсов



Модель запуска вызывает значения в списке конфигурации источника, запускает измерение напряжения во время уровня импульса и обеспечивает точную синхронизацию длительности импульса и периода с помощью двух таймеров событий (таймер событий 1 и таймер событий 2).

Таймер события 1 управляет периодом импульса, а таймер события 2 управляет длительностью импульса. Для максимально точной синхронизации важно, чтобы модель 2460 была в состоянии ожидания на этапе блоков Wait, когда происходит генерирование событий таймера. Для обеспечения соответствия фактической длительности импульса и установленной длительности импульса блоки Config Recall, Constant Delay и Measure должны быть выполнены до истечения задержки таймера события 2.

Блок Constant Delay использует величину `measuredelay` для установки временной задержки между выводом уровня импульса и проведением измерения. Величина `measuredelay` является вычисленной задержкой, помещающей измерения максимально близко к концу импульса, насколько это возможно.

Блок Branch Counter следит за числом генерируемых импульсов, используя параметр `points`.

Вывод группы сильноточных импульсов с помощью команд TSP

ПРИМЕЧАНИЕ

Следующий код TSP спроектирован для запуска с помощью Keithley Instruments Test Script Builder (TSB, средство построения сценариев тестирования). TSB – это программное обеспечение, доступное для скачивания с веб-сайта Keithley Instruments. TSB позволяет создавать код и разрабатывать сценарии для приборов, поддерживающих работу с TSP. Подробнее об использовании TSB см. в онлайн-справке к TSB и в разделе «Введение в работу с TSP» «Справочного руководства к модели 2460».

Для использования в других программных окружениях может потребоваться внести изменения в TSP код этого примера.

По умолчанию модель 2460 настроена на использования набора команд SCPI. Перед отправкой команд TSP на прибор необходимо выбрать набор команд TSP в качестве используемого.

Чтобы разрешить команды TSP:

5. Нажмите клавишу **MENU**.
6. Под System выберите **Settings**.
7. Выберите кнопку рядом с Command Set и выберите **TSP**.
8. Вам будет предложено перезагрузиться. Выберите **Yes**.

Приведенный ниже код позволяет получить 10 импульсов с амплитудой 6 А и длительностью 1 мс. Период импульсов составляет 4 мс, а нагрузка – 1 Ом. Показания напряжения сохраняются в буфере по умолчанию defbuffer1.

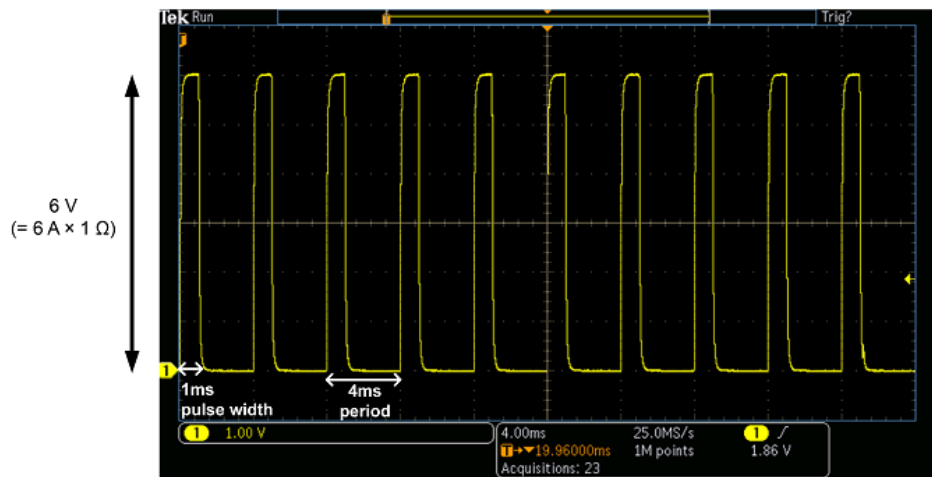
Для выполнения данного измерения отправьте следующие команды:

```
reset()
--Настройка параметров импульса (определяется пользователем).
biaslevel = 0
pulselevel = 6
biaswidth = 3e-3
pulsewidth = 1e-3
period = pulsewidth + biaswidth
points = 10
limit = 7
--[[Установка режима вывода тока и создание списка конфигурации источника.
]]
smu.source.configlist.create("OutputList")
smu.source.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.source.readback = smu.OFF
--Настройка параметров измерения.
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
smu.measure.nplc = 0.01
smu.measure.terminals = smu.TERMINALS_FRONT
smu.measure.range = limit
smu.measure.sense = smu.SENSE_4WIRE
measuredelay = pulsewidth - ((1/localnode.linefreq)*smu.measure.nplc + 450e-6)
if measuredelay < 50e-6 then measuredelay = 50e-6 end
--[[Укажите диапазон воспроизведения, который бы охватывал как смещение, так и уровень.
]]
smu.source.range = math.max(math.abs(biaslevel), math.abs(pulselevel))
smu.source.delay = 0
smu.source.vlimit.level = limit
--[[Установите на pulselevel (амплитуда) и сохраните настройки в список конфигурации.
]]
smu.source.level = pulselevel
```

```
smu.source.configlist.store("OutputList")
--Установите biaslevel и сохраните настройки в список конфигурации.
smu.source.level = biaslevel
smu.source.configlist.store("OutputList")
--Настройка таймеров.
--[Установите таймер [1] на управление периодом группы импульсов. Эффективный счет будет
равен точкам, поскольку trigger.timer[1].start.generate = trigger.ON
]]
trigger.timer[1].reset()
trigger.timer[1].start.generate = trigger.ON
trigger.timer[1].delay = period
trigger.timer[1].count = points - 1
--Установите таймер [2] на управление длительностью импульсов.
trigger.timer[2].reset()
trigger.timer[2].start.stimulus = trigger.EVENT_TIMER1
trigger.timer[2].start.generate = trigger.OFF
trigger.timer[2].delay = pulsewidth
trigger.timer[2].count = 1
trigger.timer[2].enable = trigger.ON
--Выполните настройки модели запуска.
trigger.model.setblock(1, trigger.BLOCK_BUFFER_CLEAR)
trigger.model.setblock(2, trigger.BLOCK_SOURCE_OUTPUT, smu.ON)
trigger.model.setblock(3, trigger.BLOCK_WAIT, trigger.EVENT_TIMER1)
trigger.model.setblock(4, trigger.BLOCK_CONFIG_RECALL, "OutputList")
trigger.model.setblock(5, trigger.BLOCK_DELAY_CONSTANT, measuredelay)
trigger.model.setblock(6, trigger.BLOCK_MEASURE)
trigger.model.setblock(7, trigger.BLOCK_WAIT, trigger.EVENT_TIMER2)
trigger.model.setblock(8, trigger.BLOCK_CONFIG_NEXT, "OutputList")
trigger.model.setblock(9, trigger.BLOCK_BRANCH_COUNTER, points, 3)
trigger.model.setblock(10, trigger.BLOCK_SOURCE_OUTPUT, smu.OFF)
--Включите модель запуска.
defbuffer1.clear()
smu.measure.autozero.once()
trigger.model.initiate()
delay(0.001)
trigger.timer[1].enable = trigger.ON
waitcomplete()
```

В данном примере сигнал на выходе измеряется на нагрузке с помощью осциллографа. На рисунке ниже показана группа импульсов, отображаемая на осциллографе. На рисунке видно, что таймеры событий модели запуска генерируют события через равные промежутки времени, что обеспечивает точное управление синхронизацией.

Рисунок 54. Отображение на экране осциллографа десяти импульсов продолжительностью 1 мс и с амплитудой 6 А на нагрузку 1 Ом и с периодом 4 мс



Результаты измерения напряжения, выполняемого в течение каждого импульса, сохраняются в буфер. Полученные данные можно передать по интерфейсу дистанционного управления с помощью команды print или printbuffer или можно просмотреть в табличном виде на экране прибора (нажмите клавишу **MENU** и выберите **Sheet**). На рисунке ниже показана таблица с результатами измерения, полученными при выполнении описанного примера.

Рисунок 55. Таблица с результатами измерения

DATA SHEET			
Buffer	defbuffer1	↑ ↓	Jump to Refresh
	Time	Source	Measure
1	05/28 00:13	+6.000000 A	+5.98322 V
2	13:41.71106	+6.000000 A	+5.98295 V
3	13:41.71503	+6.000000 A	+5.98281 V
4	13:41.71903	+6.000000 A	+5.98240 V
5	13:41.72304	+6.000000 A	+5.98199 V
6	13:41.72703	+6.000000 A	+5.98213 V
7	13:41.73104	+6.000000 A	+5.98254 V
8	13:41.73503	+6.000000 A	+5.98199 V
9	13:41.73903	+6.000000 A	+5.98240 V

Обратите внимание, что временные метки в колонке Time показывают, что показания снимались с интервалом точно 4 мс, как было установлено в модели запуска.