

www.keithley.com

Калибраторы-измерители напряжения и силы тока Keithley 2450 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 каждым сеансом 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	1-1
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 продукта. Измерительный прибор 2450 Interactive SourceMeter®, модель 2450 – это точный прибор с низким уровнем шума, совмещающий в себе стабильный источник постоянного тока, настоящий источник тока, электронную нагрузку и высокоомный мультиметр. У прибора интуитивно понятная настройка и управление, улучшенное качество и диапазон сигналов, а также лучшие, чем у доступных продуктов, показатели удельного и активного сопротивления.

При стандартной точности 0,012% на 6½-разрядном разрешении модель 2450 обеспечивает 59 считываний в секунду по шине IEEE-488. На 4½-разрядном разрешении можно считывать во внутренний буфер до 3000 показаний в секунду.

Введение в данное руководство

В этом руководстве даны подробные инструкции, которые помогут вам в работе с моделью 2450 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 и TSP-кода (в соответствии с выбранным вариантом).

Подробное описание используемых команд содержится в справочном разделе по командам SCPI и TSP в документе «Model 2450 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 1-888- KEITHLEY (1-888-534-8453) 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 2450 входят компакт-диски:

- Компакт-диск с информацией о продукте Interactive SourceMeter® SMU Instruments (шифр компонента Keithley Instruments 24GDI-950-01)
- Компакт-диск с программным пакетом Test Script Builder (шифр компонента Keithley Instruments KTS-850)
- Компакт-диск для быстрой установки программного обеспечения Keithley KickStart Startup (шифр компонента Keithley Instruments KKS-850-01)

На компакт-диске с информацией о продукте Interactive SourceMeter® SMU Instruments 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 углубленные 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 2450 принадлежностях.

На компакт-диске с программным пакетом Test Script Builder содержатся:

Установочные файлы для программного пакета Test Script Builder: это ПО обеспечивает окружение для разработки и запуска программ тестирования и позволяет загружать программы тестирования в прибор. Запуск программы, загруженной в прибор, устраняет необходимость посылать отдельные команды с управляющего компьютера на прибор при выполнении теста.

На компакт-диске для быстрой установки программного обеспечения Keithley содержатся:

- **Файлы для установки ПО KickStart и информация о версии ПО:** Keithley KickStart – программный продукт, позволяющий в несколько простых шагов настроить прибор и запустить выполнение теста без отправки каких-либо программирующих команд.
- **Краткое руководство пользователя ПО KickStart:** содержит инструкции, как быстро провести измерения и получить результаты, не создавая проверочных сценариев.

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 (на странице 1-3): подробные примеры применения модели 2450.

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

Помимо использования модели 2450 от Keithley Instruments в качестве автономного прибора пользователь имеет возможность работать с прибором в режиме дистанционного управления. 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 2450 и включают следующие варианты использования:

- [Проведение основных измерений с передней панели](#) (см. стр. 4-1): демонстрация основных измерений, проводимых с использованием модели 2450 и двухполюсного проверяемого устройства.
- [Измерение низкоомных устройств](#) (см. стр. 5-1): описание процедуры низкоомных измерений на резисторе 20 мОм с помощью четырехпроводной схемы для пропускания тока через устройство и измерения сопротивления.
- [Ток утечки и сопротивление изоляции](#) (см. стр. **Ошибка! Закладка не определена.**): два примера, демонстрирующих использование модели 2450 для измерения тока утечки конденсатора и сопротивления изоляции между двумя жилами коаксиального кабеля.
- [Измерение вольтамперных характеристик полевых транзисторов](#) (см. стр. 7-1): два примера, показывающих применение двух блоков модели 2450 для построения зависимости тока стока (I_d) от напряжения на стоке (V_{ds}) на трехконтактном полевом транзисторе с МОП-структурой. В одном примере используется схема запускающего сигнала модели 2450, а во втором для проведения измерения используются команды линейной развертки.
- [Измерения аккумуляторной батареи](#) (см. стр. 8-1): демонстрация процедуры автоматизированной проверки цикла заряда-разряда аккумуляторной батареи с помощью одного блока модели 2450.
- [Измерение вольтамперной характеристики элемента солнечной батареи](#) (см. стр. 9-1): демонстрация использования развертки напряжения и тока ($I-V$) для характеристики элемента солнечной батареи с помощью органов управления на передней панели модели 2450 и в удаленном режиме.

Использование интерфейса передней панели

Содержание раздела:

Обзор передней панели.....	2-1
Включение и выключение прибора.....	2-3
Включение и выключение вывода сигнала моделью 2450.....	2-4
Использование интерфейса сенсорного экрана	2-5
Запись измерений на USB флэш-накопитель.....	2-7
Запись снимков экрана на USB флэш-накопитель.....	2-8

Обзор передней панели

Передняя панель модели 2450 показана на рисунке ниже. После рисунка приводится описание органов управления, находящихся на передней панели.

Рис 1: Передняя панель модели 2450



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 (экран по умолчанию).
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 выбрать проверочные функции и подстроить 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 данные на флэш-накопителе USB с передней панели, либо вы можете создать сценарий, чтобы сохранять данные на флэш-накопителе USB по удаленному интерфейсу. Флэш-накопитель должен быть отформатирован в FAT. Поддерживаются накопители, соответствующие стандартам USB 2.0, USB 1.0 и USB 1.1.

Сенсорный экран		Модель 2450 имеет цветной сенсорный экран с размером 5 дюймов, а также дополнительные экраны, для открытия которых необходимо провести пальцем по экрану. 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. Также для выделения функции можно использовать поворотную кнопку. Выбор функции осуществляется посредством нажатия поворотной кнопки.
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 модели 2450 - <i>Model 2450 Release Notes</i> или 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 того, чтобы подать или измерить напряжение или ток на/с проверяемое(го) устройство(а).
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 2450 к сети электропитания и включения/выключения прибора выполните операции, описанные ниже. Модель 2450 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 2450 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

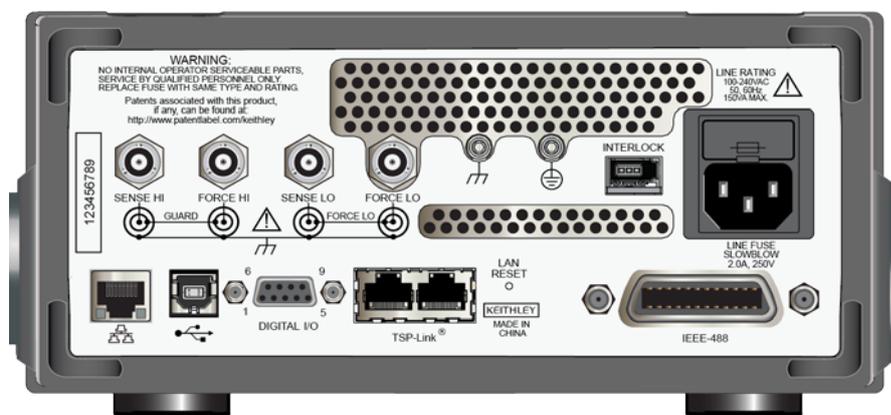
Поставляемый с моделью 2450 шнур питания имеет отдельную защитную жилу для заземления (защитное заземление), используемую в розетках с заземлением. Если подключение выполнено правильно, то корпус прибора соединен с землей сети электропитания через заземляющую жилу в шнуре питания. Кроме того, предусмотрено 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 2450



Для включения или выключения модели 2450:

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 2450

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

ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ

Выключение вывода сигнала на модели 2450 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 2450 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 для того, чтобы перевести модель 2450 в известное, не интерактивное состояние на время периодов простоя, например, при зарядке проверяемого устройства. Пользователь может выбрать один из следующих режимов состояния отключенного вывода: нормальный, высокоомный, нулевой и защитный.

Подробнее см. в разделе «Режимы выключения вывода» в «Справочном руководстве к модели 2450» (*Model 2450 Reference Manual*).

Используя переднюю панель:

Нажмите выключатель **OUTPUT ON/OFF**. Прибор находится в состоянии с включенным выводом, когда переключатель подсвечивается. Прибор находится в состоянии с выключенным 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 2450 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, 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.

Навигация по сенсорному экрану

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

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

Следующие разделы описывают каждый из экранов модели 2450 более подробно.

Интерактивные дополнительные экраны

С помощью сенсорного дисплея модели 2450 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.

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 3: Дополнительный экран SETTINGS



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 очистить данные, используемые для статистических расчетов.

Рисунок 4: Дополнительный экран STATISTICS



Дополнительный экран USER

Вы можете запрограммировать свой собственный текст, который будет отображаться на дополнительном экране USER. Например, можно запрограммировать модель 2450 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 2450» (*Model 2450 Reference Manual*).

Рисунок 5: Пользовательский текст на дополнительном экране USER



Дополнительный экран TREND

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

Рисунок 6: Дополнительный экран TREND



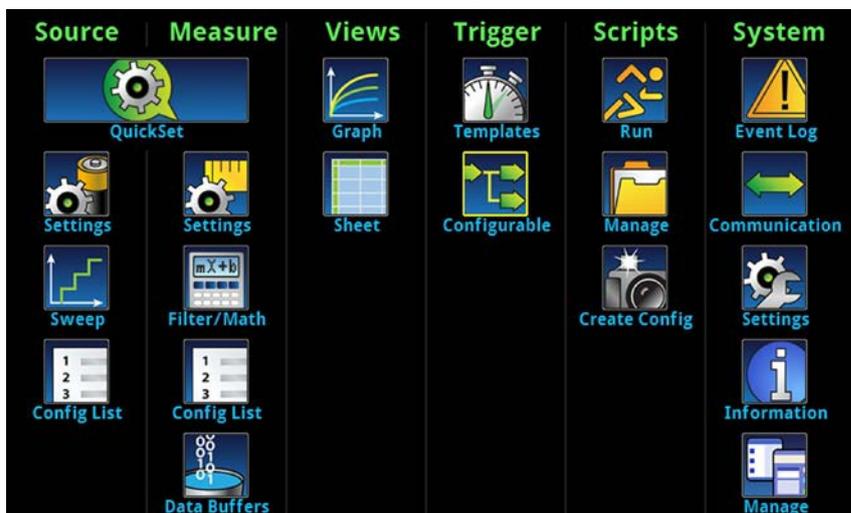
Для увеличения графика и для доступа к настройкам графика проведите пальцем до верхней части экрана TREND. На дисплее откроется экран Graph. Также открыть экран Graph можно, нажав клавишу **MENU** и выбрав **Graph** в списке Views.

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

Обзор меню

Для доступа к главному меню нажмите клавишу MENU на передней панели модели 2450. На рисунке ниже показана структура главного меню.

Рисунок 7: Главное меню модели 2450



В главное меню входит шесть подменю. Подменю подписаны зеленым в верхней части экрана. Пиктограммой каждого подменю открываются интерактивные экраны.

Более подробные сведения о меню содержатся в «Справочном руководстве к модели 2450» (*Model 2450 Reference Manual*).

Запись измерений на USB флэш-накопитель

Вы можете скопировать данные от измерения с модели 2450 на USB флэш-накопитель. Информация сохраняется в файлах формата `.csv`.

Чтобы записать данные от измерения:

1. Вставьте флэш-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.

Запись снимков экрана на USB флэш-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 флэш-накопитель.

Чтобы записать снимок экрана:

1. Вставьте флэш-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	3-1
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 2450 поддерживает работу в удаленном режиме с использованием одного из доступных интерфейсов связи.

В один момент времени управлять моделью 2450 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 2450 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 2450 поддерживает следующие удаленные интерфейсы:

- **GPIB:** интерфейсная шина общего назначения семейства IEEE-488
- **USB:** порт USB, тип B
- **Ethernet:** связь по локальной сети Ethernet
- **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 2450» (*Model 2450 Reference Manual*).

Связь по GPIB

Интерфейс GPIB у модели 2450 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 вебсайт контроллера GPIB на наличие новейшей версии драйверов или ПО.

Важно устанавливать драйвера перед подключением соответствующих устройств. Это предотвратит постановку соответствия между аппаратными средствами и неправильным драйвером.

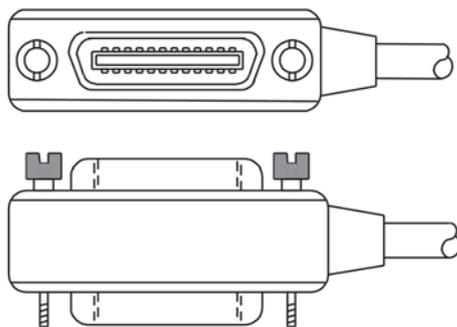
Установите карты GPIB в ваш компьютер

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 8: Разъем GPIB



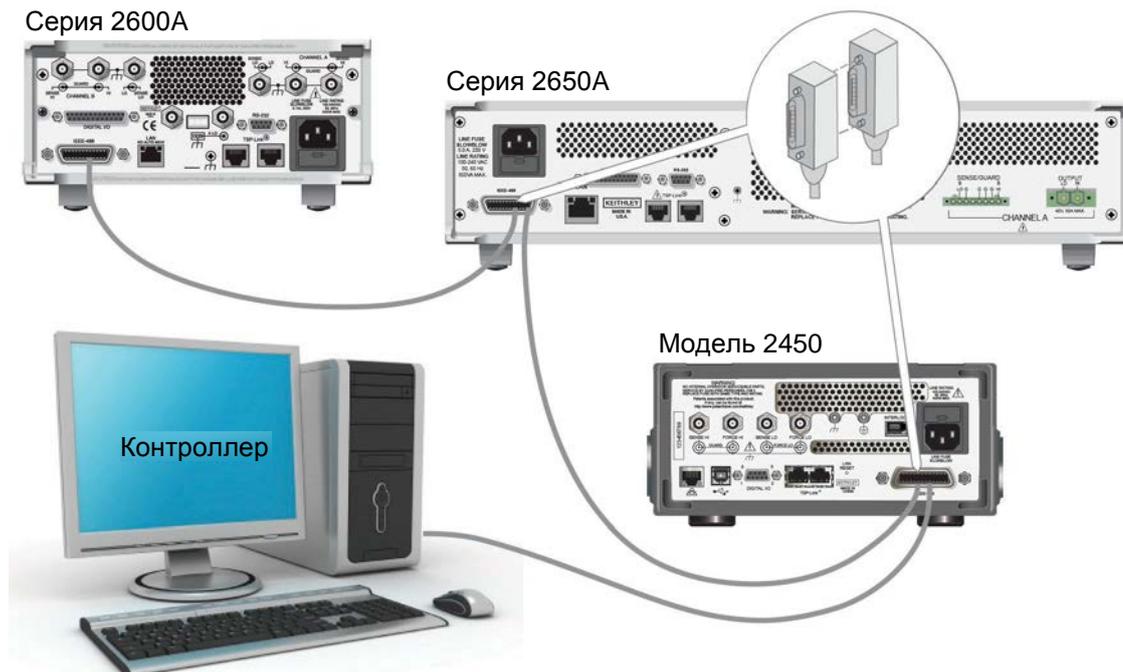
Для организации нескольких параллельных соединений рекомендуется крепить разъемы друг к другу. У каждого разъема есть два винта, гарантирующих надежность соединения. На рисунке ниже показана типичная схема соединений системы для проведения испытаний с несколькими приборами.

⚠ 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.

Чтобы получить экранированные кабели, обратитесь в Keithley Instruments.

Рисунок 9: Пример соединения IEEE-488



Установка адреса GPIB

При выпуске из производства 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. Это значит, что адрес не изменится при получении команды на сброс или при выключении и последующем включении прибора.

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 Set 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 3-12).

Модель 2450 – 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 2450 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 специфичные для вашей сети требования.

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

Настройка связи по ЛВС на приборе

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

Проверьте настройки связи

Перед настройкой конфигурации ЛВС вы можете, не внося изменений, проверить настройки связи на приборе.

Чтобы проверить настройки связи на приборе:

1. Нажмите клавишу **MENU**.
2. В меню System выберите **Communication**. Откроется окно SYSTEM COMMUNICATION.
3. Выберите одну из вкладок (**GPIB, USB, LAN** или **TSP-Link**), чтобы просмотреть настройки данного интерфейса.
4. Нажмите клавишу **EXIT**, чтобы покинуть окно SYSTEM COMMUNICATION, не внося никаких изменений.

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. Хотя и возможно установить один из них в ручной режим, но 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 ручной конфигурации ЛВС

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 нажмите **MENU**.
2. В меню System выберите **Communication**.
3. Выберите вкладку **LAN**.
4. Для TCP/IP Mode выберите **Manual**.
5. Выберите кнопку рядом с Local IP и введите IP адрес ЛВС. Вы можете касаться чисел, которые хотите изменить.
6. Выберите кнопку рядом с Gateway и введите адрес шлюза.
7. Выберите кнопку рядом с Subnet и 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 ваш 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.

ПО Keithley LXI Discovery Browser есть на компакт-диске прибора. Оно также доступно 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 2450.
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.

Более подробные сведения о LXI Consortium можно получить 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» Windows выберите Keithley Instruments.
2. Выберите LXI Discovery Browser, затем дважды щелкните по **LXI Discovery Browser**. Отобразится окно Keithley LXI Discovery Browser.
Браузер отображает приборы, которые он находит в сети, и назначенные им IP адреса.
3. 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 2450*» (*Model 2450 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 «Как установить Keithley I/O Layer» в «*Справочном руководстве к модели 2450*» (*Model 2450 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 2450 посредством USB

Для подключения модели 2450 к компьютеру посредством USB соединения воспользуйтесь Keithley Instruments Model USB-B-1 из комплекта поставки прибора.

Для каждой модели 2450 нужен собственный 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::0x2450::[serial number]::INSTR
```

Где:

- 0x05e6: идентификатор производителя Keithley
- 0x2450: номер модели прибора
- [serial number]: серийный номер прибора (серийный номер также есть на задней панели)
- INSTR: указание использовать протокол USBTMC

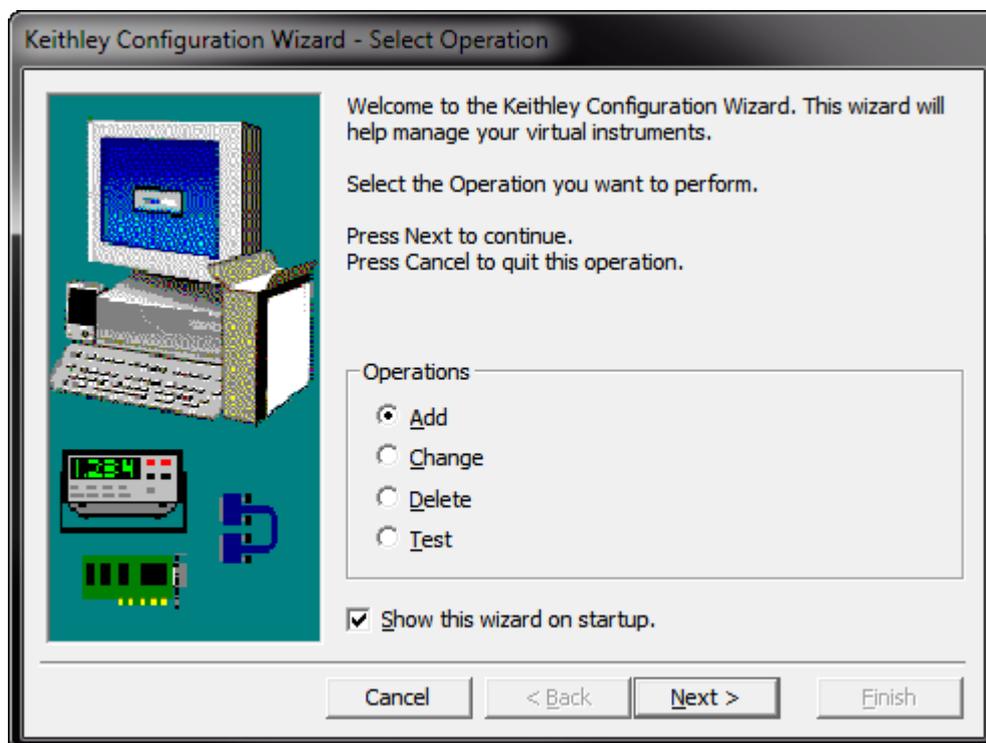
Для определения данных параметров вы можете запустить Keithley Configuration Panel (панель настройки Keithley), которая автоматически определяет все приборы, подключенные к компьютеру.

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**.

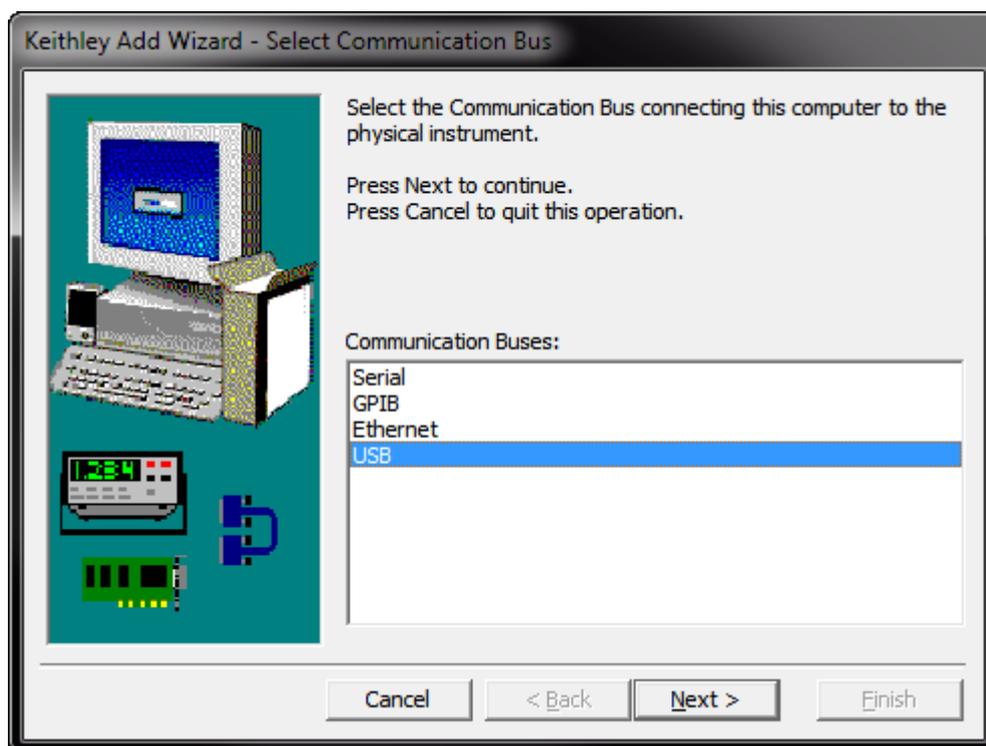
Рисунок 10: Диалоговое окно Select Operation



2. Выберите **Add**.

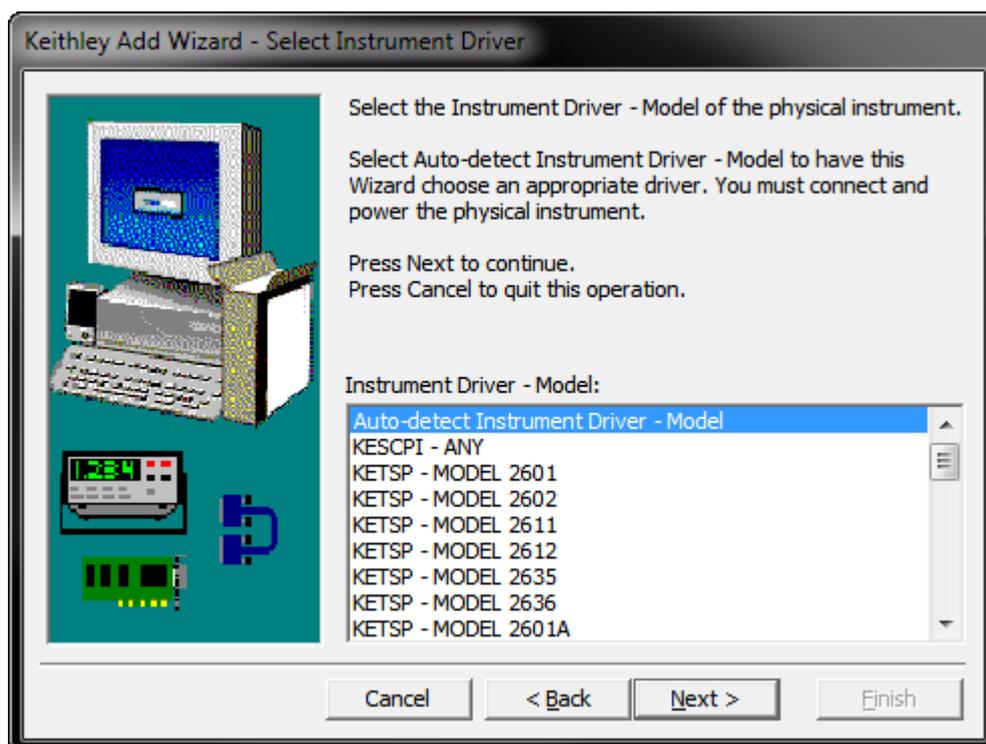
- Щелкните **Next**. Отобразится диалоговое окно Select Communication Bus.

Рисунок 11: Диалоговое окно Select Communication Bus



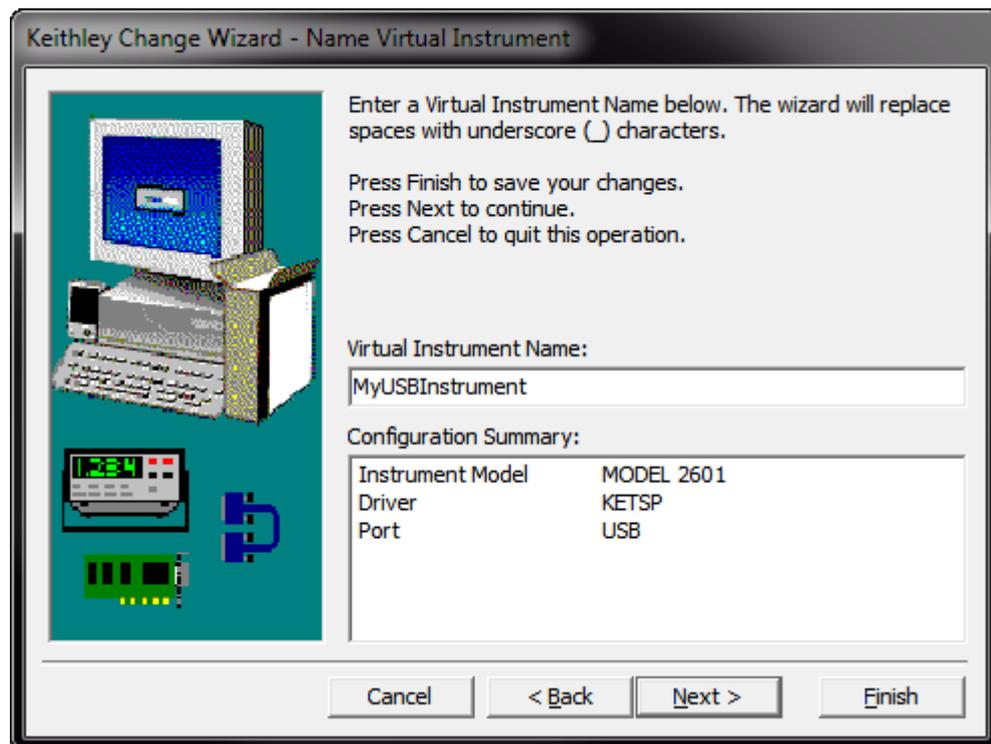
- Выберите **USB**.
- Щелкните **Next**. Отобразится диалоговое окно Select Instrument Driver.

Рисунок 12: 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.

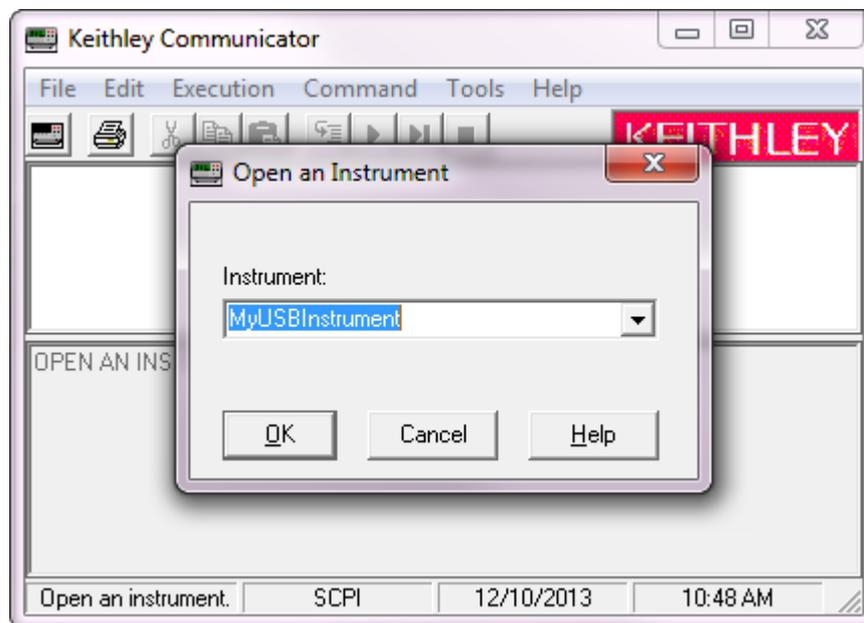
Рисунок 13: Диалоговое окно Name Virtual Instrument



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.
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 14: Open Instrument в Keithley Communicator

3. Щелкните **ОК**.
4. Пошлите на прибор команду и узнайте, отвечает ли он.

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 2450 позволяет просматривать основные сведения о приборе, изменять настройки IP, менять пароль к веб-интерфейсу и просматривать ошибки LXI.

Подключение к веб-интерфейсу прибора

После того, как ЛВС и прибор установят соединение, 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

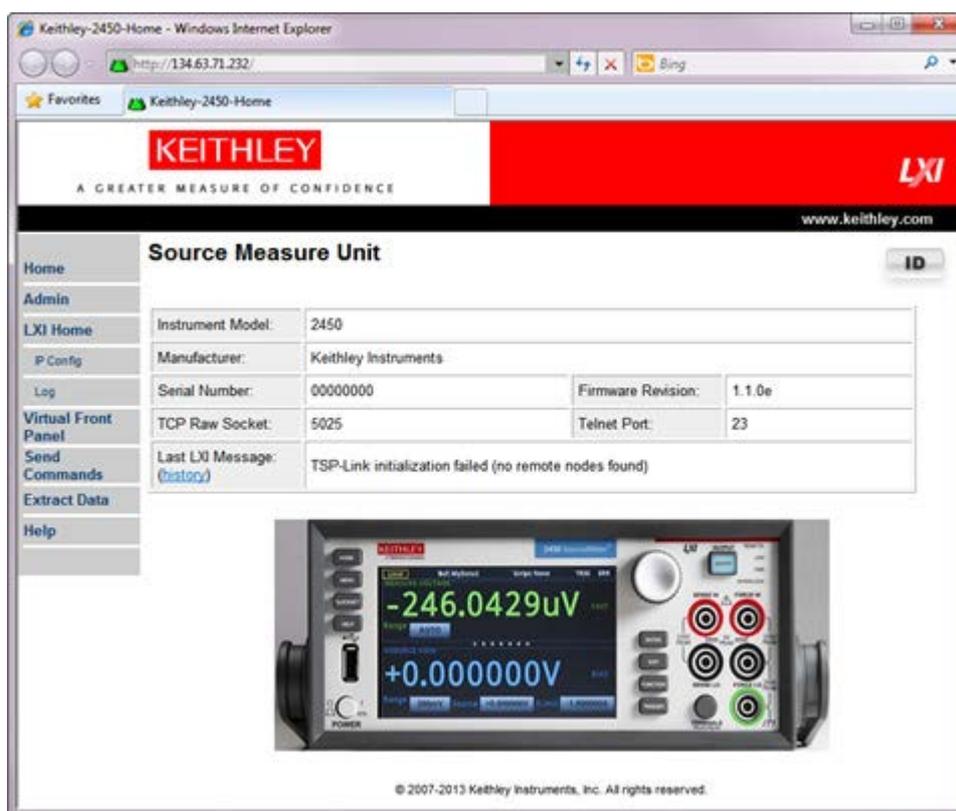
Если вы не можете подключиться к веб-интерфейсу прибора, то проверьте следующие пункты:

- Проверьте, что сетевой кабель подключен к порту LAN на задней панели прибора, а не к одному из портов TSP-Link® (см. «Обзор задней панели» в «Справочном руководстве к модели 2450» (*Model 2450 Reference Manual*)).
- 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 это не решит проблему, то обратитесь к вашему системному администратору.

Домашняя страница веб-интерфейса

Рисунок 15: Домашняя страница веб-интерфейса модели 2450



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

- Модель прибора, серийный номер, версию прошивки и последнее сообщение LXI
- Кнопку ID, чтобы помочь вам найти прибор
- Виртуальную переднюю панель для управления прибором
- Ссылки на веб-возможности прибора, включая администрирование и информацию о LXI

Обнаружение 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.

Чтобы найти прибор:

В верхнем правом углу домашней страницы щелкните .

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

Щелкните  еще раз, чтобы вернуть кнопке 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. Вы можете просматривать журнал событий 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.

Определение используемого набора команд

Вы можете изменить набор команд, который используется с моделью 2450. В доступные наборы удаленных команд входят:

- SCPI: специальный язык, построенный по SCPI стандарту.
- TSP: язык программирования, который можно использовать для отправки отдельных команд или формирования сценариев.
- SCPI2400: специальный язык для запуска кода, разработанного для более ранних приборов серии 2400.

Смешивание наборов команд не допускается.

После доставки из Keithley Instruments модель 2450 настроена на работу с набором команд Model 2450 SCPI.

ПРИМЕЧАНИЕ

В случае выбора набора команд SCPI 2400 у вас не будет доступа к некоторым расширенным диапазонам и другим возможностям, которые сейчас доступны в наборе команд SCPI. Кроме того, некоторые варианты кода будут работать на модели 2450 не так, как они работали на более ранних приборах. Различия описаны в разделе «Модель 2450 в приложениях для моделей 2400» в «Справочном руководстве к модели 2450» (*Model 2450 Reference Manual*).

Используя переднюю панель:

1. Нажмите клавишу **MENU**.
2. В меню System выберите **Settings**.
3. Выберите кнопку рядом с Command Set.
4. Выберите набор команд.
5. 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.

Переход на набор команд SCPI 2400 с удаленного интерфейса:

Пошлите команду:

```
*LANG SCPI2400
```

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 устройства.....	4-2
Проведение измерений с передней панели.....	4-2

Введение

Модель 2450 позволяет выводить сигнал и выполнять измерения с помощью органов управления, расположенных на передней панели.

ПРИМЕЧАНИЕ

Перед внесением изменений в другие настройки прибора следует убедиться, что были выбраны режимы воспроизведения и измерения. 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 2450 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 2450 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 2450
- Два изолированных кабеля с разъемом «банан»; можно воспользоваться набором, поставляемым в комплекте с моделью 2450 – Keithley Instruments Model 8608 Model 8608 High-Performance Clip Lead Set.
- Один проверяемый резистор на 10 кОм

Подключение устройств

Подключите модель 2450 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.

ПРИМЕЧАНИЕ

Перед подключением к модели 2450 необходимо отключить питание прибора.

Рисунок 16: Подключение к разъемам на передней панели модели 2450 по двухпроводной схеме



Проведение измерений с передней панели

Во время данного измерения будут выполняться следующие операции:

- Выбор режима воспроизведения и измерения
- Выбор диапазона измерения
- Выбор диапазона источника
- Установка величины источника
- Установка предела источника
- 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 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
+10.0000 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
Подключение устройств.....	5-1
Низкоомные измерения.....	5-4

Введение

В данном примере демонстрируется использование модели 2450 для измерения низкоомных устройств.

Проведение низкоомных измерений ($< 10 \text{ Ом}$) 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 2450 автоматически вычисляет сопротивление. Измеряемые напряжения обычно находятся в милливольтной области или ниже. Встроенные возможности модели 2450, такие как возможность подключения по четырехпроводной схеме и компенсация смещения, позволяют оптимизировать измерение низкоомных устройств.

Необходимое оборудование

- Один прибор Interactive SourceMeter® модели 2450.
- Для подключения к передней панели воспользуйтесь четырьмя кабелями «банан», такими как Keithley Instruments Model 8608 Model 8608 High-Performance Clip Lead Set (один комплект поставляется с моделью 2450, второй приобретается отдельно).
- Для подключения к задней панели используются четыре триаксиальных кабеля.
- Одно низкоомное устройство для проверки; в описываемом примере используется резистор с сопротивлением 20 мОм .

Подключение устройств

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

Для того чтобы применить четырехпроводной метод:

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

⚠ ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ

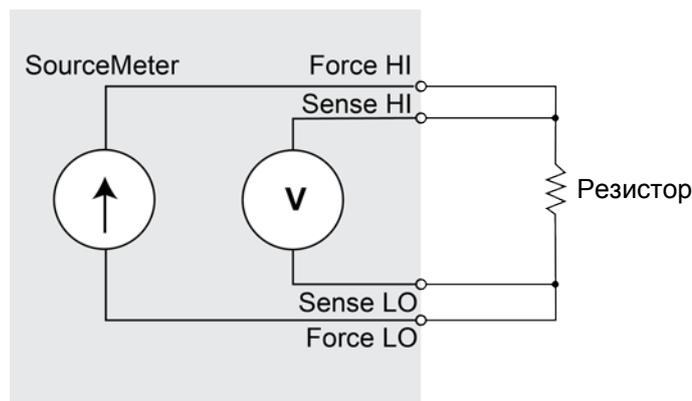
На всех выходных клеммах и клеммах защиты может присутствовать опасное напряжение. Чтобы избежать поражения электрическим током, которое может нанести вред здоровью или привести к смерти, никогда не соединяйте и не разрывайте связи с моделью 2450 при включенном выводе сигнала.

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 2450 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 17: 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.

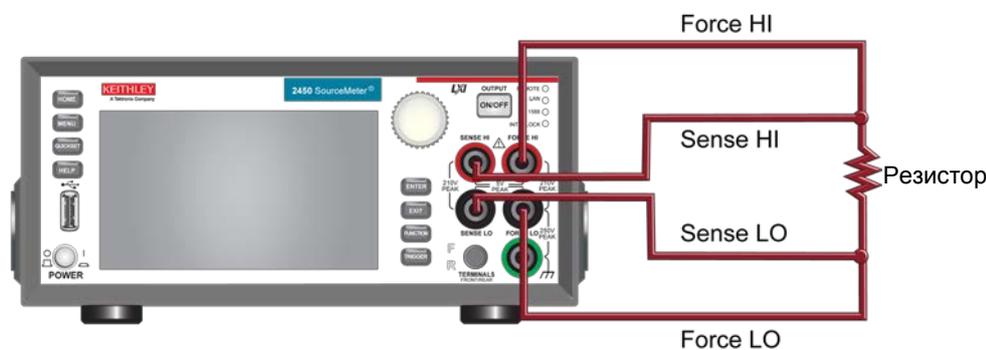
Разъемы на задней панели триаксиальные. Разъемы на передней панели – безопасные гнезда «банан».

Перед подключением к модели 2450 отключите питание от прибора.

При подключении проводов к проверяемому устройству необходимо проверить, чтобы соединения FORCE LO и SENSE LO были подключены к одному из проводов проверяемого устройства. Подключите FORCE HI и SENSE HI к другому проводу. Подключите выводы SENSE настолько близко к проверяемому резистору, насколько это возможно. Возможность подключения по четырехпроводной схеме позволяет исключить из измерения сопротивление токоведущих проводов.

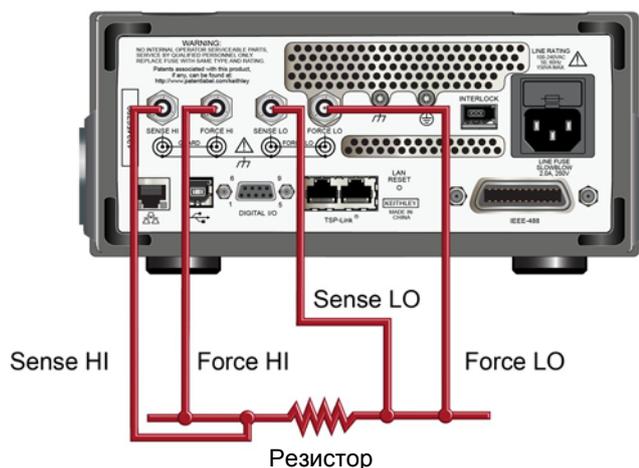
На рисунке ниже показаны соединения с передней панелью. Вы можете сделать эти соединения с помощью четырех изолированных кабелей с разъемом типа «банан», например, с помощью двух наборов Keithley Instruments Model 8608 High-Performance Clip Lead Set.

Рисунок 18: Подключения к передней панели для низкоомных измерений



На рисунке ниже показаны соединения с разъемами на задней панели. Вы можете сделать эти соединения с помощью четырех триаксиальных кабелей.

Рисунок 19: Подключения к задней панели для низкоомных измерений



Низкоомные измерения

В данном примере рассматривается применение модели 2450 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 токоподводящих проводов на точность измерения.
- Включение функции компенсации смещения, что позволяет уменьшить смещение, вызываемое термоэдс. Сведения о компенсации смещения находятся в разделе «Что такое компенсация смещения?» в «Справочном руководстве к модели 2450» (*Model 2450 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

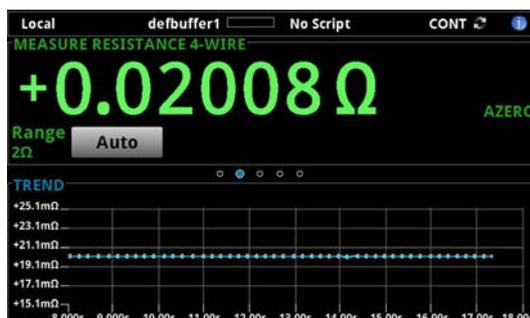
Для того чтобы настроить параметры измерения с передней панели:

1. Соедините модель 2450 и проверяемое устройство, как описано в разделе «[Соединение устройств](#)» (на странице 5-1).
 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. Выберите кнопку рядом с Sense Mode и 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 запретить вывод и завершить измерения.
- Прибор отображает 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 направо по нижней части домашнего экрана. Отобразится график, как на рисунке ниже.

Рисунок 20: Дополнительный экран TREND



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 2450 позволяет просмотреть статистику измерения на экране на передней панели, включая:

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

Рисунок 21: Дополнительный экран STATISTICS



Настройка удаленного взаимодействия

Вы можете запускать это измерение с передней панели, либо с 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 странице 3-1).

Рисунок 22: Разъемы удаленных интерфейсов модели 2450

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 2450. • Настроить модель запускающего сигнала «Простой цикл» на 100 считываний. • Установка на измерение сопротивления. • Включить авто-диапазон. • Разрешить компенсацию смещения. • Включить 4-хпроводной 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 проверочных сценариев). TSB – это программное средство на одном из компакт-дисков, поставляемых вместе с моделью 2450. Вы можете установить TSB, чтобы писать код и разрабатывать сценарии для поддерживаемых TSP приборов. Подробнее об использовании TSB см. в онлайн-справке к TSB и в разделе «Введение в работу с TSP» «Справочного руководства к модели 2450».

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

По умолчанию модель 2450 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**.

Эта последовательность команд TSP проводит 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. 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 4-хпроводной метод
--и компенсацию отклика.
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
```

Ток утечки и сопротивление изоляции

Содержание раздела:

Введение.....	6-1
Необходимое оборудование.....	6-1
Настройка удаленного взаимодействия.....	6-2
Подключение устройств.....	6-2
Измерение тока утечки.....	6-4
Измерение сопротивления изоляции.....	6-8

Введение

Для измерения тока утечки или сопротивления изоляции прибора нужно приложить к устройству заданное напряжение и измерить результирующий ток. В зависимости от тестируемого устройства измеряемый ток, как правило, очень мал, обычно, менее 10 нА.

В настоящем разделе рассматриваются два примера:

- Использование модели 2450 для измерения тока утечки на конденсаторе.
- Использование модели 2450 для измерения сопротивления изоляции между двумя жилами коаксиального кабеля

Единственное различие между этими двумя примерами состоит в том, что при измерении тока утечки результат выдается в амперах, а при измерении сопротивления изоляции – в омах.

В примере с измерением тока утечки выполняется подача напряжения в течение определенного периода времени, поскольку устройству необходимо время, чтобы зарядиться. В некоторых случаях результирующий ток измеряют все время, пока устройство находится под электрическим смещением. В других случаях снимается только одно показание в конце периода тренировки.

В следующих разделах описана процедура выполнения данных измерений с передней панели, а также по удаленному интерфейсу с помощью команд SCPI или команд Test Script Processor (TSP®).

Необходимое оборудование

- Один прибор Interactive SourceMeter® модели 2450
- Два триаксиальных кабеля
- Один конденсатор для измерения тока утечки
- Один коаксиальный кабель или другое устройство для измерения изоляции
- Один кабель Ethernet, GPIB или USB кабель для удаленного управления с помощью команд TSP и SCPI.

Настройка удаленного взаимодействия

Выполнение данного примера возможно с помощью 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 странице 3-1).

Рисунок 22: Разъемы удаленных интерфейсов модели 2450



Подключение устройств

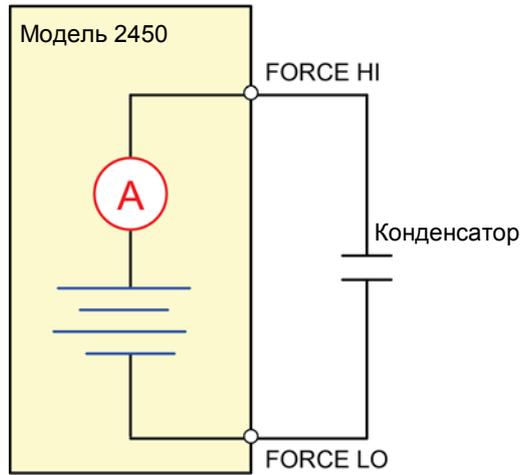
В зависимости от тестируемого устройства измеряемый ток, как правило, очень мал, обычно, <10 нА. Измерение тока утечки и сопротивления изоляции требует измерения очень маленьких величин. Чтобы получить более точные показания, подключайте тестируемое устройство к задней панели модели 2450 с помощью триаксиальных кабелей с низким уровнем шума.

Подключите тестируемое устройство к клеммам FORCE HI и FORCE LO модели 2450.

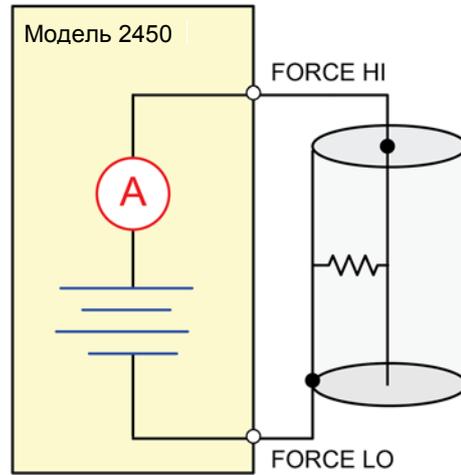
На следующем рисунке показаны схемы соединений. Одна для измерения тока утечки конденсатора. Другая – для измерения сопротивления изолятора между двумя жилами коаксиального кабеля.

Рисунок 24: Схема соединений для проверки тока утечки конденсатора и проверки сопротивления изоляции

Проверка утечки с конденсатора



Проверка сопротивления изоляции



На следующих рисунках показаны соединения клемм задней панели и тестируемого устройства для выполнения данных задач. Если при измерении утечки конденсатора будет высокий уровень шума, то может потребоваться использовать режим с большой емкостью или добавить последовательно с емкостью диод с прямым смещением и малым током утечки.

Рисунок 25: Подключение к разъемам на задней панели для проверки тока утечки

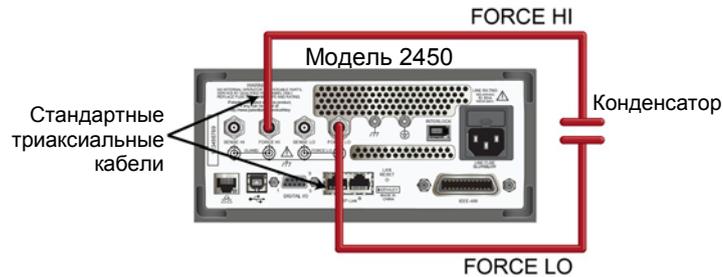


Рисунок 25: Подключение к разъемам на задней панели для проверки сопротивления изоляции



Измерение тока утечки

В данном примере демонстрируется использование модели 2450 для измерения тока утечки конденсатора с емкостью 1 нФ посредством подачи на него напряжения и измерения результирующего тока с помощью передней панели или по удаленному интерфейсу. В примерах с удаленным интерфейсом используются команды SCPI и команды TSP.

В данном примере выполняется настройка модели 2450 на выдачу 20 В и измерение результирующего тока утечки как функции от времени. Прибор производит измерения тока в течение заданного времени.

Во время данного измерения будут выполняться следующие операции:

- Сброс прибора
- Настройка прибора на считывание с клемм на задней панели
- Выбор режима вывода напряжения и режима измерения тока
- Установка абсолютной величины источника тока
- Включение автоматического выбора диапазона
- Установка задержки измерения
- Использование шаблона «Длительный цикл» модели запускающего сигнала для проведения измерения в течение определенного времени
- Включение вывода сигнала
- Набор показаний в течение определенного времени
- Выключение вывода сигнала

ПРИМЕЧАНИЕ

При использовании модели 2450 для измерения малых величин тока необходимо убедиться, что проверяемое устройство электростатически экранировано. Если номинал конденсатора превышает 20 нФ, то для получения наилучших результатов включите режим высокой емкости.

Подробнее о проведении оптимизированных измерениях утечки конденсатора и снижения шума в измерениях см. в «Руководстве по низкоуровневым измерениям» (Low Level Measurements Handbook), доступном на [вебсайте Keithley Instruments](http://www.keithley.com) (<http://www.keithley.com>).

Настройка параметров измерения тока утечки с помощью передней панели

Процедура настройки с передней панели:

1. С помощью измерительных кабелей подключите конденсатор к задней панели модели 2450, как описано в разделе «[Подключение устройств](#)» (на стр. 6-2).
2. Произведите сброс модели 2450.
 - a. Нажмите клавишу **MENU**.
 - b. Под System выберите **Manage**.
 - c. Выберите **System Reset**, затем выберите **OK**.
3. Нажмите переключатель TERMINAL FRONT/REAR, чтобы настроить прибор на использование клемм на задней панели (слева от переключателя отображается R).
4. Нажмите клавишу **HOME**.
5. Нажмите клавишу **FUNCTION**.
6. Под Source Voltage and Measure выберите **Current**.

7. Выберите кнопку рядом с Source (внизу экрана).
8. Введите 20 ∇ и выберите **OK**.
9. Нажмите клавишу **MENU**.
10. Под Trigger выберите **Templates**.
11. Рядом с Templates выберите **Duration Loop**.
12. Рядом с Duration введите время тренировки 30s и выберите **OK**.
13. Рядом с Delay введите 0.2s и выберите **OK**.
14. Нажмите клавишу **HOME**, чтобы вернуться на домашний экран.
15. Нажмите клавишу **TRIGGER**, чтобы включить вывод и сделать измерения. Вывод выключается, когда измерения закончены.

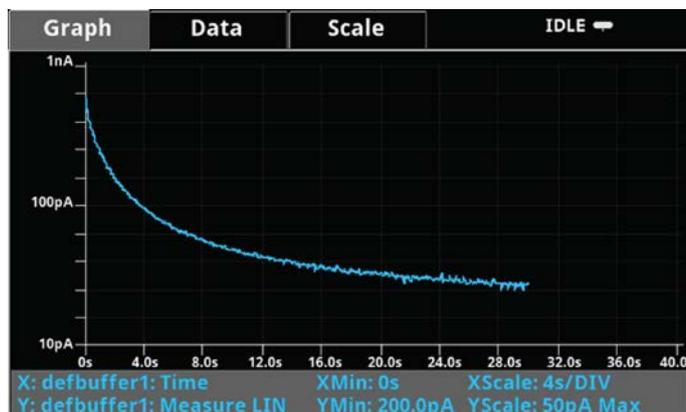
Просмотр измерений на графике на передней панели

Чтобы просмотреть измерения тока утечки на графике на передней панели:

1. Нажмите клавишу **MENU**.
2. Под Views выберите **Graph**.
3. Выберите вкладку **Scale**.
4. Под Y-Axis, рядом со Scale Format выберите **Log**.
5. Под X-Axis, рядом с Auto Format выберите **On**.
6. Выберите вкладку **Graph**, чтобы просмотреть график.

На следующих рисунках показаны графики на экране передней панели, полученные при выполнении данного примера.

Рисунок 27: Просмотр измерения тока утечки на экране передней панели



Настройка параметров измерения тока утечки с помощью команд SCPI

Следующий SCPI код производит измерение тока утечки конденсатора, подавая на него напряжение 20 В и измеряя результирующий ток утечки. Шаблон «Длительный цикл» модели запускающего сигнала подает напряжение на 60 секунд и делает измерения с интервалом 20 мс. По истечении времени измерения конденсатор разряжается до 0 В и вывод сигнала прекращается.

Для выполнения данной задачи отправьте следующие команды:

Команда	Описание
<pre>*RST :SOUR:FUNC VOLT :SOUR:VOLT 20 :SOUR:VOLT:ILIMIT 0.01 :SENSE:FUNC "CURR" :ROUT:TERM REAR :CURR:RANG:AUTO ON :SENSE:CURR:NPLC 1 :TRIG:LOAD:LOOP:DUR 60, 0.2 :OUTP ON :INIT *WAI :TRAC:ACT? "defbuffer1" :TRAC:DATA? 1, <n>, "defbuffer1", READ, REL :SOUR:VOLT 0 :OUTP OFF</pre>	<ul style="list-style-type: none"> • Сброс модели 2450. • Настройка на вывод напряжения. • Установка выводимого напряжения на 20 В. • Установка предела тока на 10 мА. • Установка прибора на измерение тока. • Использовать клеммы задней панели. • Установить диапазон тока на «авто». • Установить число циклов линии питания на 1. • Загрузить модель запускающего сигнала «Длительный цикл» на работу в течение 60 с, с интервалами 200 мс. • Включить выход. • Запустить измерение. • Дождаться окончания измерения. • <n> - число показаний в запросе. • Опросить число показаний в defbuffer1 и вернуть показания и время. • Разрядить конденсатор до 0 В. • Выключить выход.

Настройка параметров измерения тока утечки с помощью команд TSP

ПРИМЕЧАНИЕ

Следующий код TSP спроектирован для запуска с помощью Keithley Instruments Test Script Builder (TSB, средство построения проверочных сценариев). TSB – это программное средство на одном из компакт-дисков, поставляемых вместе с моделью 2450. Вы можете установить TSB, чтобы писать код и разрабатывать сценарии для поддерживаемых TSP приборов. Подробнее об использовании TSB см. в онлайн-справке к TSB и в разделе «Введение в работу с TSP» «Справочного руководства к модели 2450».

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

По умолчанию модель 2450 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**.

Следующий TSP код производит измерение тока утечки конденсатора, подавая на него напряжение 20 В и измеряя результирующий ток утечки. Шаблон «Длительный цикл» модели запускающего сигнала подает напряжение на 60 секунд и делает измерения с интервалом 200 мс. По истечении времени измерения конденсатор разряжается до 0 В и вывод сигнала прекращается.

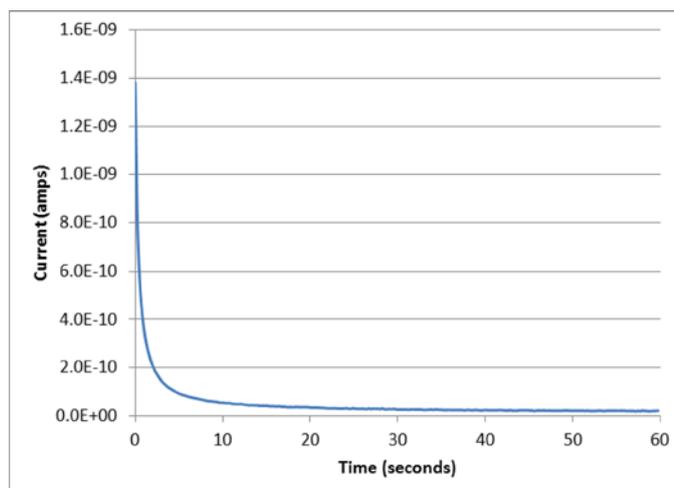
После исполнения кода результаты измерения отображаются в консоли прибора (Instrument Console) в Test Script Builder. Вы можете скопировать данные из консоли прибора в электронную таблицу для последующего построения графика.

Отправьте следующие команды для выполнения данного измерения:

```
-- Сбросить прибор, что также очистит буфер.
reset()
-- Настройка источника.
smu.source.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
smu.source.ilimit.level = 10e-3
smu.source.level = 20
-- Настройка измерения.
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.measure.terminals = smu.TERMINALS_REAR
smu.measure.autorange = smu.ON
smu.measure.nplc = 1
-- Включить вывод сигнала и запустить считывание показаний.
smu.source.output = smu.ON
trigger.model.load("DurationLoop", 60, 0.2)
trigger.model.initiate()
-- Дождаться завершения работы модели запускающего сигнала.
waitcomplete()
-- Разобрать метки и данные на три столбца.
print("Rdg #", "Time (s)", "Current (A)")
for i = 1, defbuffer1.n do
    print(i, defbuffer1.relativetimestamps[i], defbuffer1[i])
end
-- Разрядить конденсатор до 0В и выключить вывод.
smu.source.level = 0
delay(2)
smu.source.output = smu.OFF
```

График на рисунке ниже показывает результаты измерения. Обратите внимание на экспоненциальный токовый отклик конденсатора в течение времени его заряда до 20 В.

Рисунок 28: Результаты проверки тока утечки



Измерение сопротивления изоляции

В следующих разделах демонстрируется использование модели 2450 для измерения сопротивления изоляции, включая работу с интерфейсом передней панели, удаленным интерфейсом с набором команд SCPI и удаленным интерфейсом с набором команд Test Script Processor (TSP®), обработчик проверочных сценариев).

Модель 2450 позволяет провести измерение сопротивления изоляции между дорожками печатной платы или между жилами в кабелях и разъемах.

Для выполнения описываемого измерения выполняется настройка модели 2450 на вывод напряжения 20 В и получения 10 значений сопротивления с интервалом 100 мс. По окончании измерений вывод сигнала прекращается.

Во время данного измерения выполняются следующие операции:

- Сброс прибора
- Настройка прибора на считывание с клемм на задней панели
- Выбор режима вывода напряжения и измерения сопротивления
- Установка абсолютной величины источника напряжения
- Включение автоматического выбора диапазона
- Использование шаблона запускающего сигнала «Простой цикл» для установки числа считываний и длительности интервала
- Включение вывода сигнала
- Набор показаний
- Выключение вывода сигнала

Настройка параметров измерения сопротивления изоляции с помощью передней панели

Процедура настройки для измерения с передней панели:

1. Подключите проверяемое устройство к задней панели модели 2450, как описано в разделе «[Соединение устройств](#)» (на стр. 6-2).
2. Произведите сброс модели 2450.
 - a. Нажмите клавишу **MENU**.
 - b. Под System выберите **Manage**.
 - c. Выберите **System Reset**, а потом выберите **OK**.
3. Нажмите переключатель TERMINAL FRONT/REAR, чтобы настроить прибор на использование клемм на задней панели (слева от переключателя отображается R).
4. Нажмите клавишу **HOME**.
5. Нажмите клавишу **FUNCTION**.
6. Под Source Voltage and Measure выберите **Resistance**.
7. Выберите кнопку рядом с Source (внизу экрана).
8. Введите 20 V (или другое подходящее проверочное напряжение) и выберите **OK**.
9. Нажмите клавишу **MENU**.
10. Под Trigger выберите **Templates**.
11. Рядом с Templates выберите **Simple Loop**.
12. Установите Count на 10 и выберите **OK**.
13. Установите Delay на 0.1 секунды и выберите **OK**.
14. Нажмите клавишу **HOME**.
15. Нажмите выключатель **OUTPUT ON/OFF**, чтобы включить выход.
16. Нажмите клавишу **TRIGGER**, чтобы начать считывание показаний. Результаты измерения сопротивления появляются в области измерений (верхняя часть) домашнего экрана.
17. Нажмите выключатель **OUTPUT ON/OFF**, чтобы выключить вывод сигнала после завершения измерений.

Просмотр результатов измерений на графике на передней панели

Для просмотра результатов измерения сопротивления изоляции на графике на передней панели при включенном выводе сигнала:

1. Нажмите клавишу **MENU**.
2. Под Views выберите **Graph**.

Настройка параметров измерения с помощью команд SCPI

Следующий SCPI код производит измерение сопротивления изоляции посредством вывода напряжения 20 В и измерения сопротивления. Для выполнения 10 измерений с интервалом 100 мс используется шаблон «Простой цикл» модели запускающего сигнала.

Для выполнения этого примера отправьте следующие команды:

Команда	Описание
<pre>*RST ROUT:TERM REAR SOUR:FUNC VOLT SOUR:VOLT 20 SOUR:VOLT:ILIM 0.01 SENS:FUNC "CURR" SENS:CURR:RANG:AUTO ON SENSE:CURR:UNIT OHM TRIG:LOAD:LOOP:SIMP 10, 0.1 OUTP ON INIT *WAI :TRAC:DATA? 1, 10, "defbuffer1", READ, REL :OUTP OFF</pre>	<ul style="list-style-type: none"> • Сброс модели 2450. • Использовать для измерения клеммы на задней панели. • Настройка на вывод напряжения. • Вывод 20 В. • Установка предела источника на 10 мА. • Установка прибора на измерение тока. • Установить диапазон тока на «авто». • Установка прибора на измерение сопротивления. • Использовать модель запускающего сигнала «Простой цикл», чтобы сделать 10 измерений через 100 мс. • Включить вывод. • Запустить измерение. • Дождаться окончания измерения. • Считать величины сопротивления и времени из defbuffer1. • Выключить выход.

Настройка параметров измерения с помощью команд TSP

ПРИМЕЧАНИЕ

Следующий код TSP спроектирован для запуска с помощью Keithley Instruments Test Script Builder (TSB, средство построения проверочных сценариев). TSB – это программное средство на одном из компакт-дисков, поставляемых вместе с моделью 2450. Вы можете установить TSB, чтобы писать код и разрабатывать сценарии для поддерживаемых TSP приборов. Подробнее об использовании TSB см. в онлайн-справке к TSB и в разделе «Введение в работу с TSP» «Справочного руководства к модели 2450».

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

По умолчанию модель 2450 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**.

Следующий TSP код производит измерение изоляции, подавая на нее напряжение 20 В и измеряя сопротивление. Используется шаблон «Простой цикл» модели запускающего сигнала, чтобы сделать 10 измерений с интервалом 100 мс. После исполнения кода результаты измерения отображаются в консоли прибора (Instrument Console) в Test Script Builder.

Для выполнения этого примера отправьте следующие команды:

```
--Провести сброс прибора
reset()
--Настройка измерения
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.measure.unit = smu.UNIT_OHM
smu.measure.terminals = smu.TERMINALS_REAR
smu.measure.autorange = smu.ON
smu.measure.nplc = 1
--Настройка источника.
smu.source.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
smu.source.ilimit.level = 0.1
smu.source.level = 20
--Включить вывод сигнала и снять показания.
trigger.model.load("SimpleLoop", 10, 0.1)
smu.source.output = smu.ON
trigger.model.initiate()
--Дождаться окончания измерений.
waitcomplete()
-- Разобрать метки и данные на три столбца.
for i = 1, defbuffer1.n do
    print(i, "\t", defbuffer1[i], "\t", defbuffer1.relativetimestamps[i])
end
--Выключить выход.
smu.source.output = smu.OFF
```

Измерение вольтамперных характеристик полевых транзисторов

Содержание раздела:

Введение.....	7-1
Необходимое оборудование.....	7-1
Настройка удаленного взаимодействия.....	7-2
Настройка внешних аппаратных запускающих сигналов.....	7-2
Подключение устройств.....	7-4
Удаленное управление проверкой ПТ с помощью команд SCPI.....	7-5
Удаленное управление проверкой ПТ с помощью команд TSP.....	7-9

Введение

В данном разделе демонстрируется использование двух приборов модели 2450 для определения вольтамперной характеристики полевых транзисторов (ПТ). Благодаря возможности быстро и точно выводить и измерять ток, и напряжение, модель 2450 хорошо подходит для проверки полупроводниковых устройств.

Определение вольтамперных характеристик полевых диодов помогает удостовериться, что они будут правильно работать при задуманном применении и что они соответствуют своим характеристикам. С моделью 2450 можно провести много видов В-А проверок, включая измерение утечки затвора, напряжения пробоя, порогового напряжения, передаточных характеристик и тока стока. Количество приборов модели 2450, требующихся для проверки, зависит от количества электродов ПТ, на которые надо подавать смещение с последующим измерением.

В данном разделе демонстрируется процедура построения зависимостей тока стока (I_d) от напряжения на стоке (V_{ds}) на трехконтактном полевом транзисторе с МОП-структурой (MOSFET). МОП-транзисторы – это наиболее часто используемые полевые транзисторы потому, что они являются основой цифровых интегральных схем.

Необходимое оборудование

- Два прибора модели 2450
- Четыре триаксиальных кабеля (Keithley номер модели 7078-TRX-10)
- Зажимное приспособление или зондовая станция с металлическим экраном с триаксиальными розетками.
- Триаксиальный тройник (Keithley номер модели 237-TRX-T)
- Разводка кабелей для внешнего запускающего оборудования зависит от набора используемых команд:
 - Для команд SCPI используйте DB-9 9-контактный кабель с двумя штыревыми концами, чтобы соединить цифровые порты ввода/вывода на задней панели приборов модели 2450 друг с другом.
 - Для TSP команд вам понадобится TSP-Link кабель с перекрестными проводниками (один кабель Keithley CA-180-3A входит в комплект поставки модели 2450) для соединения TSP-Link портов на задней панели приборов модели 2450 друг с другом.

- Разводка кабелей от компьютера к модели 2450 зависит от набора используемых команд:
 - Для примера с командами SCPI используйте два кабеля GPIB, два кабеля USB или два кабеля Ethernet.
 - Для примера с командами TSP используйте один кабель GPIB, один кабель USB или один кабель Ethernet.

Указания по настройке двух приборов модели 2450 для выполнения данного измерения см. далее.

Настройка удаленного взаимодействия

Выполнение данного примера возможно с помощью 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 29: Подключение к разъемам удаленных интерфейсов модели 2450



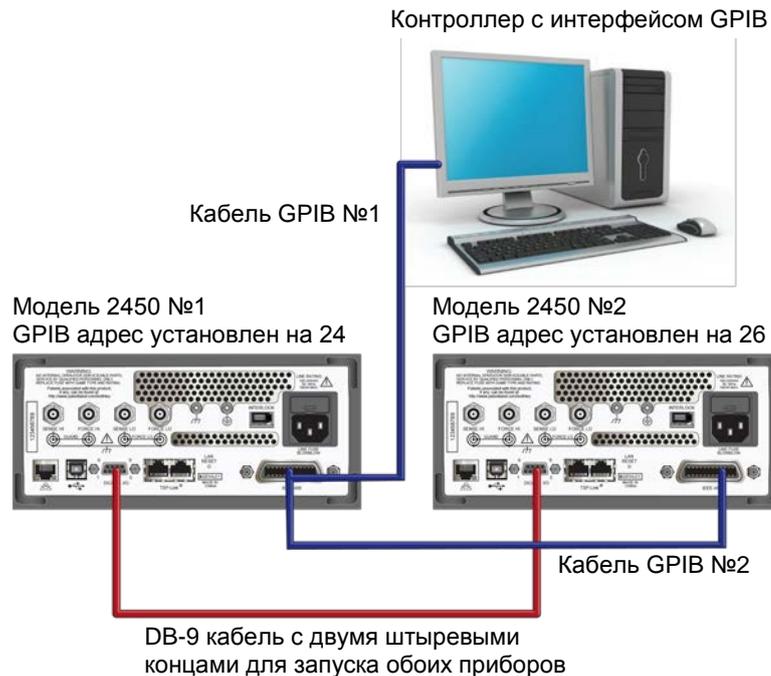
Настройка внешних аппаратных запускающих сигналов

Чтобы включить синхронизацию между двумя приборами модели 2450 для ступенчатого и плавного изменения напряжения, соедините разъемы для внешних запускающих сигналов приборов друг с другом. Тип используемых кабелей будет зависеть от набора команд, который вы выберете для управления тестом.

Соединения для набора команд SCPI

Если вы используете набор команд SCPI, подключите DB-9 кабель с двумя штыревыми концами к двум цифровым разъемам ввода/вывода сзади каждого прибора так, как показано на рисунке ниже.

Подробнее о контактах цифрового разъема ввода/вывода см. в разделе «Цифровой ввод/вывод» в «*Справочном руководстве к модели 2450*» (*Model 2450 Reference Manual*).

Рисунок 30: Соединение кабелей GPIB и DB-9 для примера с SCPI программированием

На рисунке выше также показаны соединения кабелей для связи в случае использования интерфейса удаленного взаимодействия GPIB. Кабель GPIB №1 соединяет порт GPIB на компьютере (контроллере) и разъем IEEE-488 на задней панели модели 2450 №1. Кабель GPIB №2 соединяет разъемы IEEE-488 двух моделей 2450.

ПРИМЕЧАНИЕ

Для каждой модели 2450 должен быть назначен свой собственный адрес GPIB. Настройку адресов можно выполнить с помощью передней панели. Подробнее см. в разделе [«Установка адреса GPIB»](#) (на стр. 3-3).

В случае использования для соединения компьютера и прибора модели 2450 кабеля USB каждый прибор должен быть подключен к компьютеру отдельным кабелем USB.

В случае использования для соединения компьютера и прибора модели 2450 соединения Ethernet приборы и компьютер должны соединяться с помощью концентратора или маршрутизатора Ethernet.

Соединения для набора команд TSP

В случае использования для удаленного программирования набора команд Test Script Processor (TSP®, обработчик проверочных сценариев) для соединения портов TSP-Link на задней панели приборов друг с другом используйте кабель модели CA-180-3A с перекрестными соединениями (один входит в комплект поставки модели 2450), как показано на рисунке ниже. Подробнее об использовании TSP-Link см. в разделе «Интерфейс расширения системы TSP-Link» в «Справочном руководстве к модели 2450» (*Model 2450 Reference Manual*).

Рисунок 31: Соединение для набора команд TSP

Для связи по GPIB между компьютером и прибором модели 2450 вам понадобится только один кабель для соединения интерфейса GPIB с одним из интерфейсов IEEE-488 модели 2450 (модель 2450 №1 на рисунке выше).

Установите узел TSP-Link модели 2450 №1 равным 1, а узел TSP-Link модели 2450 №2 равным 2.

Чтобы установить узлы TSP-Link модели 2450 с передней панели:

1. Нажмите клавишу **MENU**.
2. Под System выберите **Communication**. Откроется окно SYSTEM COMMUNICATION.
3. На вкладке **TSP-Link**, рядом с Node, введите номер узла для этого прибора.
4. Выберите **OK**.
5. Выберите **Initialize**.
6. Нажмите **HOME**, чтобы вернуться на домашний экран.

Повторите эти операции для всех приборов модели 2450 в вашей сети TSP-Link.

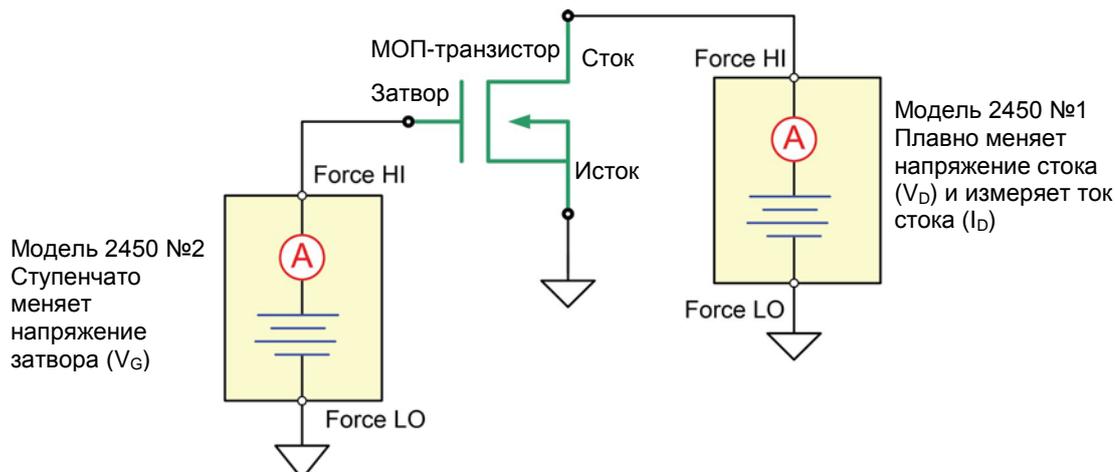
Подключение устройств

Чтобы снять набор стоковых характеристик, настройте оба прибора модели 2450 на вывод напряжения и измерение тока.

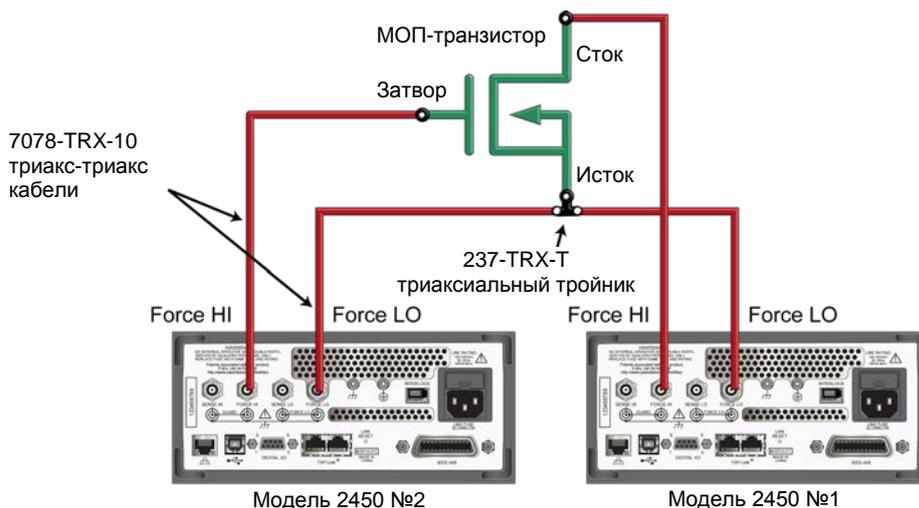
В этой схеме клемма Force HI модели 2450 №2 соединяется с затвором МОП-транзистора, а клемма Force HI модели 2450 №1 соединяется со стоком.

Электрод истока МОП-транзистора соединяется с клеммами Force LO обоих приборов. В случае необходимости подавать напряжение и измерять со всех трех электродов понадобится третий блок модели 2450.

На следующем рисунке показана схема для вольтамперной проверки МОП-транзистора с помощью двух приборов модели 2450.

Рисунок 32: Трехэлектродная схема для В-А проверки МОП-транзистора

На следующем рисунке показаны соединения с клеммами задней панели обоих приборов модели 2450 с МОП-транзистором.

Рисунок 33: Две модели 2450, настроенные на измерения трехэлектродного МОП-транзистора

Для выполнения измерения соедините четырьмя триаксиальными кабелями (модель 7078-TRX-10) триаксиальные гнезда на задней панели модели 2450 с МОП-транзистором. Установите МОП-транзистор в зажимное приспособление с триаксиальными гнездами и металлическим экраном. Подключите клемму Force LO обоих приборов модели 2450 к электроду истока МОП-транзистора с помощью триаксиального тройника (модель 237-TRX-T).

Удаленное управление проверкой ПТ с помощью команд SCPI

Два примера последовательности команд SCPI позволяют получить стоковые характеристики МОП-транзистора с помощью двух приборов модели 2450. В одном из примеров используется модель запускающего сигнала, чтобы получить семейство В-А характеристик. В другом примере используется линейная развертка напряжения. Возможно, вам потребуется внести некоторые изменения в код для работы в имеющемся программном окружении.

Настройка параметров измерения с моделью запускающего сигнала с помощью команд SCPI

В рассматриваемом примере напряжение затвора ступенчато меняется от 2 В до 5 В с шагом 1 В, напряжение стока плавно меняется от 0 В до 5 В за 51 шаг и выполняется измерение тока стока. Результаты измерения тока и напряжения хранятся в `defbuffer1`. Модель запускающего сигнала синхронизирует два прибора модели 2450.

Отправка команд осуществляется либо на устройство развертки стока (SMU1), либо на устройство ступенчатого изменения напряжения затвора (SMU2). В таблице команды для развертки имеют светло-серый фон. Команды для устройства ступенчатого изменения имеют темно-серый фон. Отмеченный светло-коричневым цветом псевдокод, заменяет собой код, зависящий от вашего программного окружения. Каждая отмеченная точкой строка в столбце «Описание» поясняет одну строку кода из столбца «Команды».

Отправьте следующие команды для выполнения этого примера:

SMU 1, SMU 2 или псевдокод	Команды	Описание
SMU 1	<pre>*RST SENS:FUNC "CURR" SENS:CURR:RANG:AUTO ON ROUT:TERM REAR SOUR:FUNC VOLT SOUR:VOLT:RANG 20 SOUR:CONF:LIST:CRE "stepVals" DIG:LINE1:MODE TRIG, OUT DIG:LINE2:MODE TRIG, IN TRIG:DIG1:OUT:STIM NOT1 TRIG:DIG2:IN:CLE TRIG:DIG2:IN:EDGE RIS</pre>	<ul style="list-style-type: none"> Сбросить прибор. Настроить на измерение тока. Настроить замер с автодиапазоном. Настроить на задние клеммы. Настроить на вывод напряжения. Настроить на диапазон вывода 20 В. Создать список настроек источника с именем <code>stepVals</code>. Цифровая линия 1 – вывод запуска. Цифровая линия 2 – прием запуска. Настроить стимул цифровой линии 1 на событие <code>notify1</code>. Очистить цифровую линию 1. Настроить на обнаружение нарастающего фронта на линии 2.
Псевдокод	<pre>for i = 2 to 5 do:</pre>	<ul style="list-style-type: none"> Настройка цикла <code>for</code> от 2 до 5.
SMU 1	<pre>SOUR:VOLT i SOUR:CONF:STORE "stepVals"</pre>	<ul style="list-style-type: none"> Установить уровень напряжения равным номеру прохода. Сохранить настройки источника в <code>stepVals</code>.
Псевдокод	<pre>end for</pre>	<ul style="list-style-type: none"> Завершить цикл <code>for</code>.
SMU 1	<pre>TRIG:BLOC:CONF:RECALL 1, "stepVals" TRIG:BLOC:SOUR:STAT 2, ON TRIG:BLOC:MEAS 3 TRIG:BLOC:NOT 4, 1 TRIG:BLOC:WAIT 5, DIG2 TRIG:BLOC:CONF:NEXT 6, "stepVals" TRIG:BLOC:BRAN:COUN 7, 4, 3 TRIG:BLOC:SOUR:STAT 8, OFF</pre>	<ul style="list-style-type: none"> Создать блок 1 модели триггера, чтобы загружать <code>stepVals</code> в первый элемент. Создать блок 2 для включения вывода. Создать блок 3 для измерения. Создать блок 4 для генерации сообщения <code>notify1</code>. Создать блок 5 для ожидания сигнала на цифровой линии 2. Создать блок 6 для загрузки следующего элемента <code>stepVals</code>. Создать блок 7 для перехода на блок 3 три раза. Создать блок 8 для отключения вывода.

SMU 2	<pre>*RST SENS:FUNC "CURR" SENS:CURR:RANG:AUTO ON ROUT:TERM REAR SOUR:FUNC VOLT SOUR:VOLT:RANG 20 SOUR:VOLT:ILIM 1 SOUR:CONF:LIST:CRE "sweepVals" DIG:LINE2:MODE TRIG, OUT DIG:LINE1:MODE TRIG, IN TRIG:DIG2:OUT:STIM NOT2 TRIG:DIG1:IN:CLE TRIG:DIG1:IN:EDGE RIS</pre>	<ul style="list-style-type: none"> • Сбросить прибор. • Настроить на измерение тока. • Настроить замер с автодиапазоном. • Настроить на задние клеммы. • Настроить на вывод напряжения. • Настроить на диапазон вывода 20 В. • Установить предел источника 1 А. • Создать список настроек источника с именем sweepVals. • Цифровая линия 2 – вывод запуска. • Цифровая линия 1 – прием запуска. Настроить стимул цифровой линии 1 на событие notify2. • Очистить цифровую линию 1. • Обнаруживать нарастающий фронт на линии 1.
Псевдокод	<pre>for i = 0, 5, 0.1 do:</pre>	<ul style="list-style-type: none"> • Настроить цикл for от 0 до 5 с шагом 0.1 (инклюзивный).
SMU 2	<pre>SOUR:VOLT i SOUR:CONF:LIST:STORE "sweepVals"</pre>	<ul style="list-style-type: none"> • Установить уровень напряжения равным номеру прохода. • Сохранить настройки источника в sweepVals.
Псевдокод	<pre>end for</pre>	<ul style="list-style-type: none"> • Завершить цикл for.
SMU 2	<pre>TRIG:BLOC:CONF:RECALL 1, "sweepVals" TRIG:BLOC:SOUR:STAT 2, ON TRIG:BLOC:WAIT 3, DIG1 TRIG:BLOC:DEL:CONS 4, 0.01 TRIG:BLOC:MEAS 5 TRIG:BLOC:CONF:NEXT 6, "sweepVals" TRIG:BLOC:BRAN:COUN 7, 51, 4 TRIG:BLOC:NOT 8, 2 TRIG:BLOC:BRAN:COUN 9, 4, 3 TRIG:BLOC:SOUR:STAT 10, OFF</pre>	<ul style="list-style-type: none"> • Создать блок для загрузки sweepVals в первый элемент. • Создать блок для включения вывода. • Создать блок для ожидания цифровой линии 3. • Создать блок, задерживающий на 0.01 с. • Создать блок для проведения измерения. • Создать блок для загрузки следующего элемента sweepVals. • Создать блок для перехода на блок 4 50 раз. • Создать блок для генерации сообщения notify2. • Создать блок для перехода на блок 3 три раза. • Создать блок для отключения вывода.
SMU 1	<pre>INIT</pre>	<ul style="list-style-type: none"> • Запустить модель запускающего сигнала.
SMU 2	<pre>INIT</pre>	<ul style="list-style-type: none"> • Запустить модель запускающего сигнала.
Псевдокод	<pre>vds = [] ids = [] for i = 2, 5 do:</pre>	<ul style="list-style-type: none"> • Создать пустой массив, для хранения измеренных значений напряжения. • Создать пустой массив, для хранения измеренных значений тока. • Настроить цикл for от 2 до 5 (включая 5).
SMU 2	<pre>vds[i-1] = TRAC:DATA? 1 + 51*(i-2), 51*(i-1), "defbuffer1", SOUR vds[i-1] = TRAC:DATA? 1 + 51*(i-2), 51*(i-1), "defbuffer1", READ</pre>	<ul style="list-style-type: none"> • Сохранить генерируемые и измеренные значения в массивы vds и ids, соответственно. Показания с каждого шага записываются в отдельный элемент массива.
Псевдокод	<pre>end for</pre>	<ul style="list-style-type: none"> • Завершить цикл for.

Настройка измерения с линейной разверткой с помощью команд SCPI

В рассматриваемом примере напряжение затвора ступенчато меняется от 2 В до 6 В с шагом 1 В, напряжения стока плавно меняется от 0 В до 5 В за 51 шаг и выполняется измерение тока стока. В процессе измерения прибор извлекает каждое из 51 показания и значения источника из `defbuffer1` и сохраняет их в массивах `vds` и `ids`, соответственно.

Отправка команд осуществляется либо на устройство плавной развертки (SMU1), либо на устройство ступенчатой развертки (SMU2). В таблице команды для развертки имеют светло-серый фон. Команды для устройства ступенчатой развертки имеют темно-серый фон. Отмеченный светло-коричневым цветом псевдокод, заменяет собой код, зависящий от вашего программного окружения. Каждая отмеченная точкой строка в столбце «Описание» поясняет одну строку кода из столбца «Команды».

Отправьте следующие команды для выполнения этого примера:

SMU 1, SMU 2 или псевдокод	Команды	Описание
SMU 2	*RST SENS:FUNC "CURR" SENS:CURR:RANG:AUTO ON ROUT:TERM REAR SOUR:FUNC VOLT SOUR:VOLT:RANG 20	<ul style="list-style-type: none"> Сбросить прибор. Настроить на измерение тока. Настроить замер с автодиапазоном. Настроить на задние клеммы. Настроить на вывод напряжения. Настроить на диапазон вывода 20 В.
SMU 1	*RST SENS:FUNC "CURR" SENS:CURR:RANG:AUTO ON ROUT:TERM REAR SOUR:FUNC VOLT SOUR:VOLT:RANG 20 SOUR:VOLT:ILIM 1 SOUR:SWE:VOLT:LIN 0, 5, 51, 0.01	<ul style="list-style-type: none"> Сбросить прибор. Настроить на измерение тока. Настроить замер с автодиапазоном. Настроить на задние клеммы. Настроить на вывод напряжения. Настроить на диапазон вывода 20 В. Установить предел источника 1 А. Настроить линейное качание от 0 В до 5 В за 51 шаг с задержкой 10 мс.
SMU 2	OUTP ON	<ul style="list-style-type: none"> Включить вывод.
Псевдокод	<code>vds = []</code> <code>ids = []</code> <code>for i = 2, 5 do:</code>	<ul style="list-style-type: none"> Создать пустой массив для хранения измеренные значения напряжения. Создать пустой массив для хранения измеренных значений тока. Настроить цикл <code>for</code> от 0 до 5 (инклюзивный).

SMU 2	SOUR:VOLT i	<ul style="list-style-type: none"> Установить уровень вывода равным номеру прохода.
Псевдокод	delay(0.5)	<ul style="list-style-type: none"> Задержать на 500 мс для стабилизации.
SMU 1	INIT complete = *OPC?	<ul style="list-style-type: none"> Сделать запуск развертки. Опросить бит завершения операции и сохранить в переменную complete.
Псевдокод	while complete not equal "1" do:	<ul style="list-style-type: none"> Продолжать посылать запрос об окончании операции, пока не вернется ASCII 1.
SMU 1	complete = *OPC?	<ul style="list-style-type: none"> Опросить бит завершения операции и сохранить в переменную complete.
Псевдокод	end while	<ul style="list-style-type: none"> Завершить цикл while, когда развертка завершится.
SMU 1	vds[i-1]=TRAC:DATA? 1, 51, "defbuffer1", SOUR ids[i-1]=TRAC:DATA? 1, 51, "defbuffer1", READ	<ul style="list-style-type: none"> Получить каждое из 51 показания и значения вывода из буфера и сохранить их в массивах vds и ids, соответственно. Нумерация элементов массива начинается с единицы. Каждая точка в массиве содержит список величин для каждого напряжения затвора.
Псевдокод	end for	<ul style="list-style-type: none"> Завершить цикл for.
SMU 2	OUTP OFF	<ul style="list-style-type: none"> Выключить вывод. ПРИМЕЧАНИЕ: Все величины вывода и измерения можно получить из массивов vds и ids.

Удаленное управление проверкой ПТ с помощью команд TSP

Два примера последовательности команд Test Script Processor (TSP®, обработчик проверочных сценариев) позволяют получить стоковые характеристики МОП-транзистора с помощью двух приборов модели 2450. В одном из примеров для получения семейства В-А характеристик используется модель запускающего сигнала. В другом примере используется линейная развертка напряжения. Возможно, вам придется внести изменения, чтобы примеры работали в имеющемся программном окружении.

ПРИМЕЧАНИЕ

Следующий код TSP спроектирован для запуска с помощью Keithley Instruments Test Script Builder (TSB, средство построения проверочных сценариев). TSB – это программное средство на одном из компакт-дисков, поставляемых вместе с моделью 2450. Вы можете установить TSB, чтобы писать код и разрабатывать сценарии для поддерживаемых TSP приборов. Подробнее об использовании TSB см. в онлайн-справке к TSB и в разделе «Введение в работу с TSP» «Справочного руководства к модели 2450».

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

По умолчанию модель 2450 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**.

Настройка параметров измерения с моделью запускающего сигнала с помощью команд TSP.

Отправьте следующие команды для выполнения этого примера:

```
--Произвести сброс прибора и соединения TSP-Link, очистить буферы.
tsplink.initialize()
reset()
--Если состояние tsplink не online, напечатать сообщение об ошибке и выйти.
state = tsplink.state
if state ~= "online" then
    print("Error:\n-Check that all SMUs have a different node number")
    print("-Check that all SMUs are connected correctly\n")
    return
end
--##### Настройка модели 2450 №1 (затвор) #####
steppoints = 4
--Настроить параметры воспроизведения.
smu.source.configlist.create("stepVals")
smu.source.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
smu.source.autorange = smu.ON
--Настроить параметры измерения.
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.measure.autorange = smu.ON
smu.measure.terminals = smu.TERMINALS_REAR
--Настроить TSP-Link взаимодействие.
tsplink.line[1].reset()
tsplink.line[1].mode = tsplink.MODE_SYNCHRONOUS_MASTER
trigger.tsplinkout[1].stimulus = trigger.EVENT_NOTIFY1
--Заполнить список настроек источника stepVals уровнями источника от 2 В до 5 В.
for i = 2, 5 do
    smu.source.level = i
    smu.source.configlist.store("stepVals")
end
--Настроить модель запускающего сигнала.
trigger.model.setblock(1, trigger.BLOCK_CONFIG_RECALL, "stepVals")
trigger.model.setblock(2, trigger.BLOCK_SOURCE_OUTPUT, smu.ON)
trigger.model.setblock(3, trigger.BLOCK_MEASURE)
trigger.model.setblock(4, trigger.BLOCK_NOTIFY, trigger.EVENT_NOTIFY2)
trigger.model.setblock(5, trigger.BLOCK_WAIT, trigger.EVENT_TSPLINK1)
trigger.model.setblock(6, trigger.BLOCK_CONFIG_NEXT, "stepVals")
trigger.model.setblock(7, trigger.BLOCK_BRANCH_COUNTER, steppoints, 3)
trigger.model.setblock(8, trigger.BLOCK_SOURCE_OUTPUT, 0)
--##### Настройка модели 2450 №2 (сток) #####
sweepoints = 51
--Настроить параметры воспроизведения.
node[2].smu.source.configlist.create("sweepVals")
node[2].smu.source.func = node[2].smu.FUNC_DC_VOLTAGE
node[2].smu.source.autorange = node[2].smu.ON
node[2].smu.source.ilimit.level = 100e-3
--Настроить параметры измерения.
node[2].smu.measure.func = node[2].smu.FUNC_DC_CURRENT
node[2].smu.measure.autorange = node[2].smu.OFF
node[2].smu.measure.terminals = node[2].smu.TERMINALS_REAR
node[2].smu.measure.range = 100e-3
--Настроить TSP-Link взаимодействие.
node[2].tsplink.line[1].mode = node[2].tsplink.MODE_SYNCHRONOUS_ACCEPTOR
```


Отправьте следующие команды для выполнения этого примера:

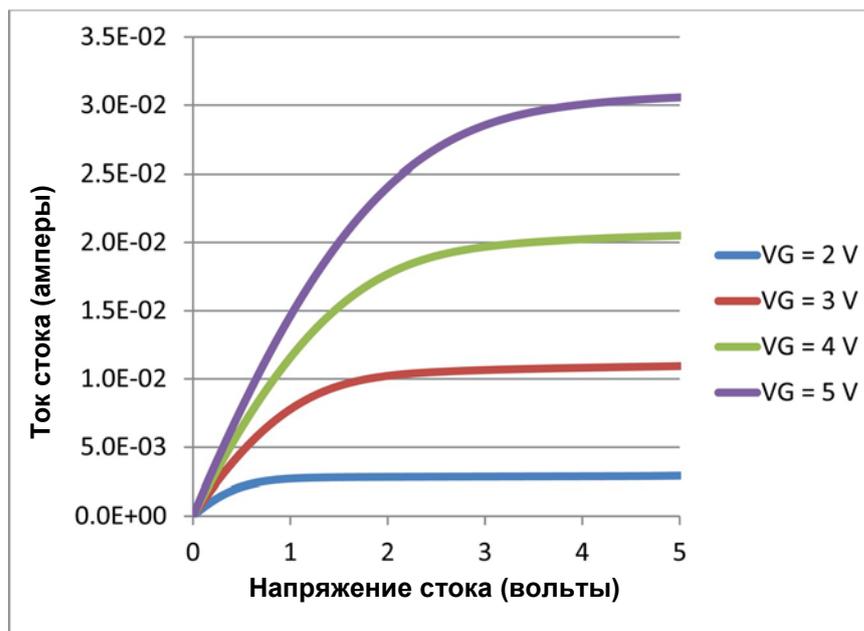
```
--Произвести сброс прибора и соединения TSP-Link, очистить буферы.
tsplink.initialize()
reset()
node[2].reset()
--Если состояние tsplink не online, напечатать сообщение об ошибке и выйти.
state = tsplink.state
if state ~= "online" then
    print("Error:\n-Check that all SMUs have a different node number")
    print("-Check that all SMUs are connected correctly\n")
    return
end
--Настроить число точек для плавного изменения (также используется при распечатке).
num = 51
--##### Настройка модели 2450 №1 (сток) #####
--Настроить параметры воспроизведения.
smu.source.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
smu.source.ilimit.level = 300e-3
smu.source.autorange = smu.ON
--Настроить параметры измерения.
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.measure.autorange = smu.ON
smu.measure.terminals = smu.TERMINALS_REAR
--Настроить линейную развертку
smu.source.sweeplinear("MOSFET", 0, 5, num, 0.001)
--##### Настройка модели 2450 №2 (затвор) #####
--Настроить параметры воспроизведения.
node[2].smu.source.func = node[2].smu.FUNC_DC_VOLTAGE
node[2].smu.source.autorange = node[2].smu.ON
node[2].smu.source.ilimit.level = 100e-3
--Настроить параметры измерения.
node[2].smu.measure.func = node[2].smu.FUNC_DC_CURRENT
node[2].smu.measure.autorange = node[2].smu.ON
node[2].smu.measure.terminals = node[2].smu.TERMINALS_REAR
```

```
--Включить выход устройства ступенчатого изменения.
node[2].smu.source.output = node[2].smu.ON
readings = {}
sourcevalues = {}
iteration = 0
steppoints = 4
--Настроить для устройства ступенчатого изменения уровень напряжения, задержку
--и дождаться окончания.
for i = 2, 5 do
    node[2].smu.source.level = i
    delay(0.01)
    trigger.model.initiate()
    waitcomplete()
    for j = 1, num do
        readings[j+iteration*num] = defbuffer1[j]
        sourcevalues[j+iteration*num] = defbuffer1.sourcevalues[j]
    end
    iteration = iteration+1
end
--Выключить выход устройства ступенчатого изменения.
node[2].smu.source.output = node[2].smu.OFF
--Распечатать отформатированные показания.
if defbuffer1.n == 0 then
    print("\nNo readings in buffer\n")
else
    for k = 1, num do
        print(string.format("%f\t%f\t\t%f\t%f\t\t%f\t%f\t\t%f\t%f", sourcevalues[k],
            readings[k], sourcevalues[k+num], readings[k+num], sourcevalues[k+num*2],
            readings[k+num*2], sourcevalues[k+num*3], readings[k+num*3]))
    end
end
end
```

Полученные ток стока и напряжение стока выдаются в виде таблицы в консоли прибора (Instrument Console) в Test Script Builder. Вы можете скопировать данные в электронную таблицу, например Microsoft® Excel®, чтобы построить график и произвести последующий анализ.

На рисунке ниже демонстрируется семейство кривых, полученных при выполнении данного примера.

Рисунок 34: Стоковые характеристики МОП-транзистора, полученные двумя моделями 2450



Измерение аккумуляторной батареи

Содержание раздела:

Введение.....	8-1
Необходимое оборудование.....	8-3
Подключение устройств.....	8-3
Автоматизированная проверка цикла заряда-разряда батареи.....	8-5

Введение

В данном разделе демонстрируется использование одного блока модели 2450 для выполнения автоматизированного цикла разряда и заряда аккумуляторной батареи.

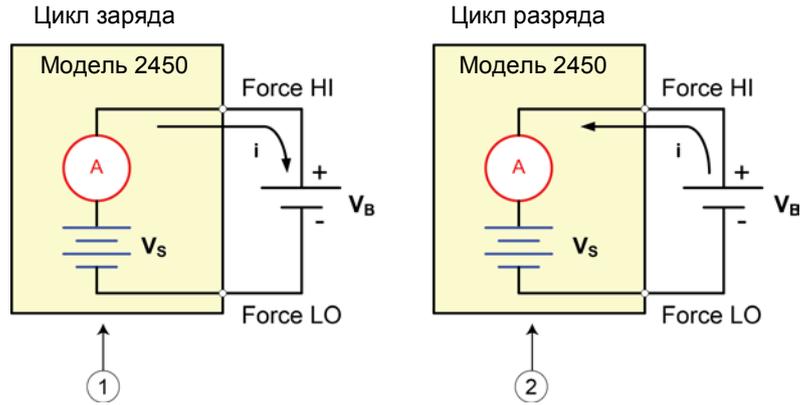
ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ

Во избежание нанесения вреда здоровью или повреждения модели 2450 запрещается заряжать незаряжаемые батареи. Некоторые из типов батарей, которые можно заряжать с помощью модели 2450: никель-кадмиевые (Ni-Cd), никель-металгидридные (Ni-MH), литий-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 2450. 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 21 В на 1.05 А или 210 В на 105 мА.

И для цикла заряда, и для цикла разряда модель 2450 настраивается на вывод напряжения и измерение тока. На рисунках на следующей странице показаны упрощенные схемы для циклов заряда и разряда.

Рисунок 35: Схемы циклов заряда-разряда батареи.

1	Модель 2450 в режиме источника ($V_S > V_B$). Прибор работает как блок питания, ток заряда (i) положительный.
2	Модель 2450 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 2450 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 2450.

Таким образом, эта разница напряжений создает ток, который тут же ограничивается до значения, заданного пользователем. В режиме предельного тока модель 2450 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 2450 работает в качестве потребителя энергии, так как она рассеивает энергию вместо того, чтобы выдавать ее. Источник напряжения модели 2450 настраивается на уровень, более низкий, чем напряжение батареи. Предельный ток задает скорость разряда. Когда выход включен, ток из батареи уходит в клемму HI модели 2450. Таким образом, значения тока отрицательные. Ток разряда должен оставаться постоянным до тех пор, пока напряжение на батарее не понизится до уровня источника напряжения модели 2450.

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 выключения 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 выключения вывода, источник и предельные значения перед тем, как подключать модель 2450 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 перенапряжения на уровни, превышающие значения внешнего напряжения. Несоблюдение этой рекомендации может привести к прохождению чрезмерно большого тока через модель 2450 (<105 мА) и неверным измерениям.

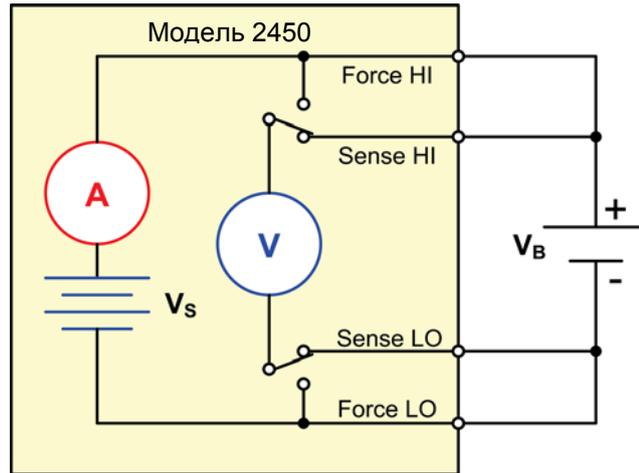
Необходимое оборудование

- Один прибор модели 2450
- Четыре изолированных кабеля типа «банан», если вы используете разъемы на передней панели (один комплект Keithley Instruments Model 8608 Model 8608 High-Performance Clip Lead Set входит в комплект поставки модели 2450; вам понадобится еще один комплект)
- Четыре триаксиальных кабеля, если вы используете разъемы на задней панели
- Один кабель GPIB, USB или Ethernet для подключения модели 2450 к компьютеру
- Одна аккумуляторная батарея AA (2300 мАч, 1.2 В) для проверки

Подключение устройств

Для проведения проверки подключите модель 2450 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 36: Схема для проверки цикла заряда-разряда батареи



⚠ 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 2450 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.

Между защитным заземлением и клеммой LO модели 2450 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.

Подключение к модели 2450 можно выполнить с помощью разъемов как на передней, так и на задней панели. Основные схемы подключения к модели 2450 включают в себя:

- Двухпроводная схема
- Четырехпроводная схема
- Защита

Подключите выходные клеммы Force HI и Sense HI модели 2450 к положительной (+) клемме батареи. Подключите выходные клеммы Force LO и Sense LO модели 2450 к отрицательной (-) клемме батареи.

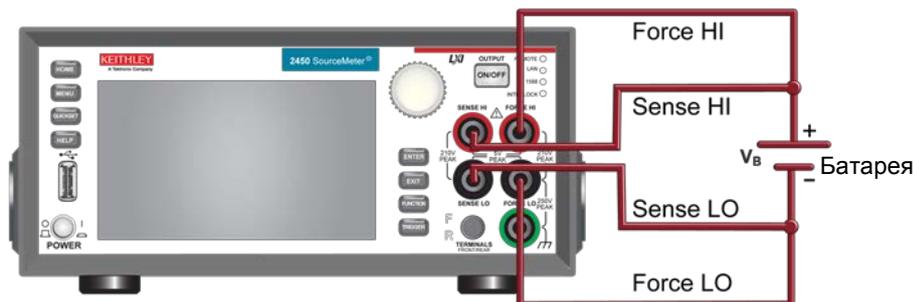
Убедитесь, что при выключении вывода модель 2450 переходит в режим отключенного вывода с высоким сопротивлением (High-Z). Когда выбран режим с высоким сопротивлением, при отключении вывода сигнала открывается выходное реле, что позволяет предотвратить разряд батареи после выключения вывода.

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 State и выберите **High Impedance**.
4. Нажмите клавишу **HOME**, чтобы вернуться на домашний экран.

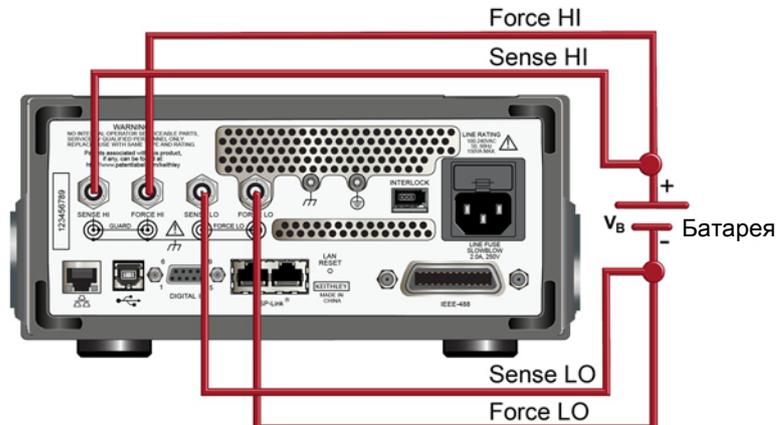
На рисунке ниже показаны соединения с разъемами на передней панели. Эти соединения можно сделать с помощью четырех кабелей «банан», например, двух наборов Keithley Instruments Model 8608 High-Performance Clip Lead Set.

Рисунок 37: Соединения с передней панелью модели 2450 для заряда-разряда батареи



На рисунке ниже показаны соединения с разъемами на задней панели. Эти соединения можно сделать с помощью четырех триаксиальных кабелей.

Рисунок 38: Соединения с задней панелью 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 2450 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 4-хпроводную схему.
- Настройка прибора на вывод напряжения и измерение тока.
- Выбор режима отключенного вывода с высоким сопротивлением, который открывает выходное реле, когда вывод отключен. Это предотвращает разряд батареи, когда она подключена к прибору с выключенным выводом.
- Настройка предельного тока на значение, используемое при заряде/разряде батареи, что для данного теста является током нагрузки. Хотя модель 2450 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 разрешить модели 2450 измерять напряжение батареи, пока она заряжается либо разряжается.
- Считывание тока нагрузки, обратное считывание показаний источника напряжения и считывание временной метки.
- Отслеживание напряжения до тех пор, пока напряжение батареи не достигнет желаемого уровня, и остановка проверки.

Чтобы зарядить батарею, запрограммируйте модель 2450 на вывод напряжения, равного номинальному напряжению батареи. Например, чтобы зарядить батарею на 10 В, настройте 2450 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, запрограммируйте модель 2450 на вывод напряжения меньшей величины, чем номинал батареи, и задайте режим отключенного вывода с высоким сопротивлением. В этой схеме модель 2450 будет работать как потребитель энергии и разряжать батарею. Ток из батареи течет в модель 2450 через клемму HI, что приводит к отрицательным значениям измеренного тока. Пока батарея разряжается, ток остается постоянным.

Настройка удаленного взаимодействия

Выполнение данного примера возможно с помощью 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 странице 3-1).

Рисунок 39: Разъемы удаленных интерфейсов модели 2450



Настройка параметров работы с батареей с помощью команд SCPI

SCPI код этого примера позволяет настроить модель 2450 на вывод напряжения и измерение тока. Источник напряжения устанавливается на 1 В, а предельное значение для источника устанавливается равным 460 мА. Прибор возвращает значения напряжения, тока и соответствующую временную метку. Измерения производятся до тех пор, пока напряжение не достигнет заданного уровня.

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>*RST OUTP:SMOD HIMP SENS:RES:RSEN ON SOUR:FUNC VOLT SOUR:VOLT 1 SOUR:VOLT:READ:BACK ON SOUR:VOLT:RANG 2 SOUR:VOLT:ILIM 460e-3 SENS:FUNC "CURR" SENS:CURR:RANG 1 OUTP ON</pre>	<ul style="list-style-type: none"> • Сбросить прибор. • Включить режим выхода с высоким сопротивлением. • Настроить на режим 4-хпроводной схемы. • Настроить на вывод напряжения. • Настроить источник на 1 В. • Включить эхосчитывание источника. • Настроить на диапазон вывода 2 В. • Установить предел источника 460 мА. • Настроить на измерение тока. • Установить предельный ток 1 А. • Включить выход.
Псевдокод	<pre>iteration = 1 voltLimit = 1.0 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 1. • 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 if. • Увеличить счетчик итераций на 1. • Задержка на 10 секунд. • Завершить цикл while.
Команда SMU	OUTP OFF	<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 проверочных сценариев). TSB это программное средство на одном из компакт-дисков, поставляемых вместе с моделью 2450. Вы можете установить TSB, чтобы писать код и разрабатывать сценарии для поддерживаемых TSP приборов. Сведения о том, как использовать TSB, находятся в онлайн-справке к TSB и в разделе «Введение в работу с TSP» *Справочного руководства к модели 2450*.

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

По умолчанию модель 2450 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**.

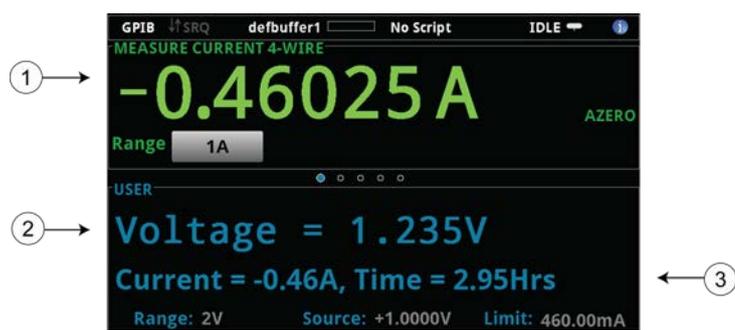
Код TSP в этом примере настраивает модель 2450 на вывод напряжения и измерение тока. Источник напряжения устанавливается на 1 В, а предельное значение для источника устанавливается равным 460 мА. Прибор возвращает значения напряжения, тока и соответствующую временную метку. Измерения производятся до 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).

Отправьте следующие команды TSP для выполнения этого примера:

```
--Сброс прибора, что очищает буферы.
reset()
--Настройки источника.
smu.source.func = smu.FUNC_DC_VOLTAGE
smu.source.offmode = smu.OFFMODE_HIGHZ
smu.source.level = 1
smu.source.range = 2
smu.source.readback = smu.ON
smu.source.ilimit.level = 460e-3
--Настройки измерения.
smu.measure.func = smu.FUNC_DC_CURRENT
smu.measure.range = 460e-3
smu.measure.sense = smu.SENSE_4WIRE
--Настройка предельного напряжения, на котором батарея прекратит заряжаться.
--Настройка переменной для числа итераций.
voltLimit = 1.0
iteration = 1
--Включить выход источника.
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
    --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))
    --Увеличить число итераций и подождать 10 секунд.
    --Сравнить измеренное напряжение с предельным напряжением.
    --Выйти из цикла, если достигнуто предельное напряжение.
    if volt <= voltLimit then
        break
    end
    iteration = iteration + 1
    delay(10)
end
--Выключить выход, когда достигнуто предельное напряжение.
smu.source.output = smu.OFF
--Распечатать измеренные величины в 4 столбца.
print("\nIteration:\tCurrent:\tVoltage:\tTime:\n")
for i = 1, defbuffer1.n do
    print(i, "\t", defbuffer1[i], "\t", defbuffer1.sourcevalues[i],
    "\t", defbuffer1.relativetimestamps[i])
end
end
```

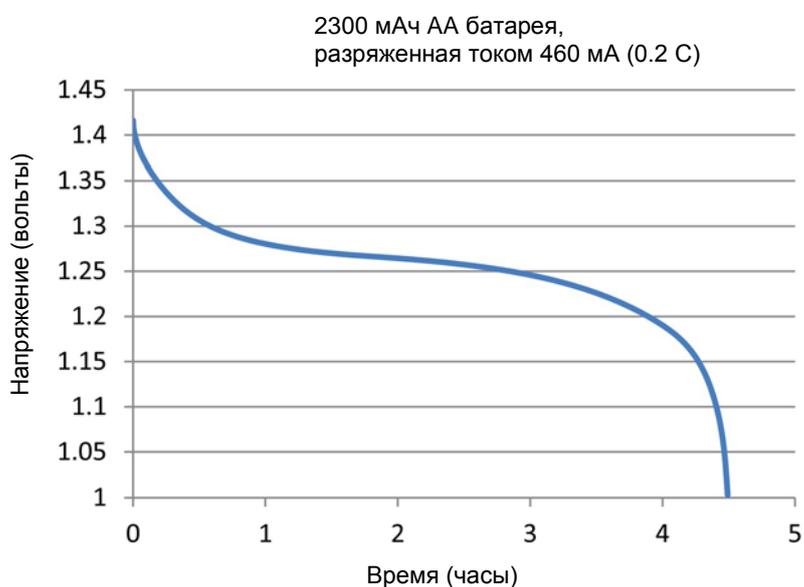
На рисунке ниже показаны результаты выполнения данного теста.

Рисунок 40: Отображение результатов проверки на дополнительном экране USER



1	Измеренный ток нагрузки
2	Измеренное напряжение батареи
3	Значение источника и прошедшее время

Рисунок 41: Результаты проверки заряда и разряда батареи



Измерение вольтамперной характеристики элемента солнечной батареи

Содержание раздела:

Введение.....	9-1
Необходимое оборудование.....	9-1
Настройка удаленного взаимодействия	9-2
Подключение устройств	9-2
Снятие характеристик элемента солнечной батареи.....	9-4

Введение

В данном разделе демонстрируется использование модели 2450 для измерения вольтамперных характеристик элемента солнечной батареи.

По вольтамперным характеристикам, измеренным моделью 2450, можно определить важные параметры элемента 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 2450 поддерживает режим четырехквadrантного источника тока, то она может потреблять до 1 А тока элемента в зависимости от прикладываемого напряжения.

Необходимое оборудование

- Один прибор модели 2450
- Четыре изолированных кабеля типа «банан», если вы используете разъемы на передней панели (один комплект Keithley Instruments Model 8608 Model 8608 High-Performance Clip Lead Set входит в комплект поставки модели 2450; вам понадобится еще один комплект)
- Четыре триаксиальных кабеля, если вы используете разъемы на задней панели
- Один элемент солнечной батареи

Настройка удаленного взаимодействия

Выполнение данного примера возможно с помощью 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 42: Разъемы удаленных интерфейсов модели 2450



Подключение устройств

Подключите модель 2450 к элементу солнечной батареи по четырехпроводной схеме, чтобы получить наилучшую точность и устранить влияние подводящих элементов на точность измерения.

Для использования четырехпроводной схемы:

- Подключите кабели FORCE LO и SENSE LO к выводу катода.
- Подключите кабели FORCE HI и SENSE HI к выводу анода.
- Подключайтесь к элементу солнечной батареи настолько близко, насколько это возможно, чтобы избежать влияния измерительных проводов на измерения.

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

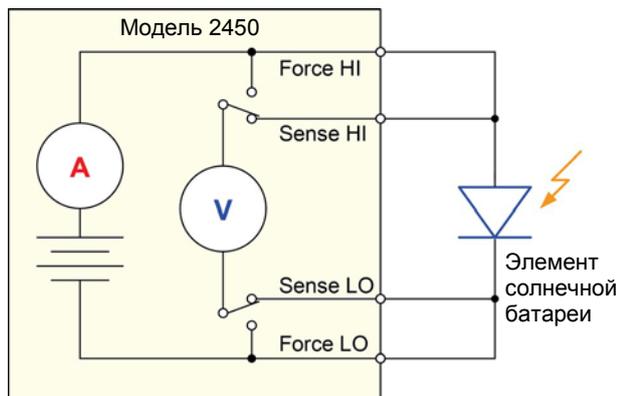
⚠ ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ

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 2450 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 43: Подключение модели 2450 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.

Разъемы на задней панели триаксиальные. Разъемы на передней панели – безопасные гнезда «банан».

Перед подключением к модели 2450 отключите питание от прибора.

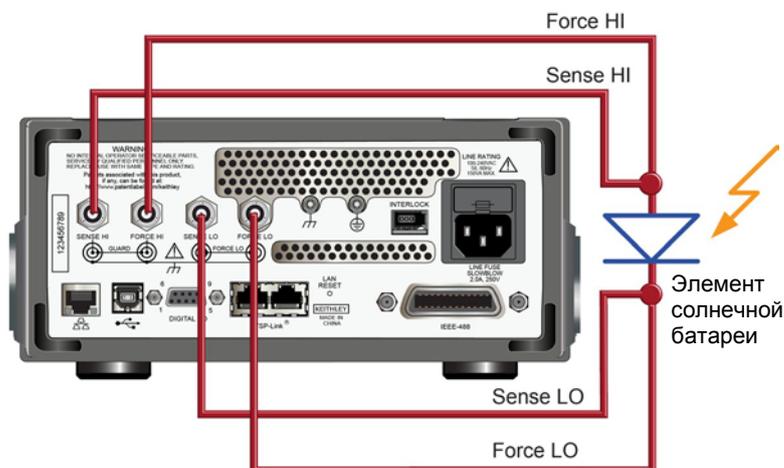
На рисунке ниже показаны соединения с передней панелью. Вы можете сделать эти соединения с помощью четырех изолированных кабелей с разъемом типа «банан», например, с помощью двух наборов Keithley Instruments Model 8608 High-Performance Clip Lead Set.

Рисунок 44: Подключение к передней панели модели 2450 по четырехпроводной схеме



На рисунке ниже показаны соединения с разъемами на задней панели. Для выполнения этих соединений используются четыре триаксиальных кабеля.

Рисунок 45: Подключение к задней панели модели 2450 по четырехпроводной схеме



Снятие характеристик элемента солнечной батареи

В примерах, рассматриваемых ниже, демонстрируется использование модели 2450 для снятия характеристик элемента солнечной батареи с помощью органов управления на передней панели, по удаленному интерфейсу с использованием кода SCPI или 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.

Настройка параметров снятия вольтамперной характеристики с передней панели

Далее рассматривается процедура снятия вольтамперной характеристики, во время выполнения которой напряжение меняется от 0 В до 0.55 В с шагом 10 мВ и измеряется результирующий ток. После этого полученные данные можно просмотреть в виде графика на передней панели.

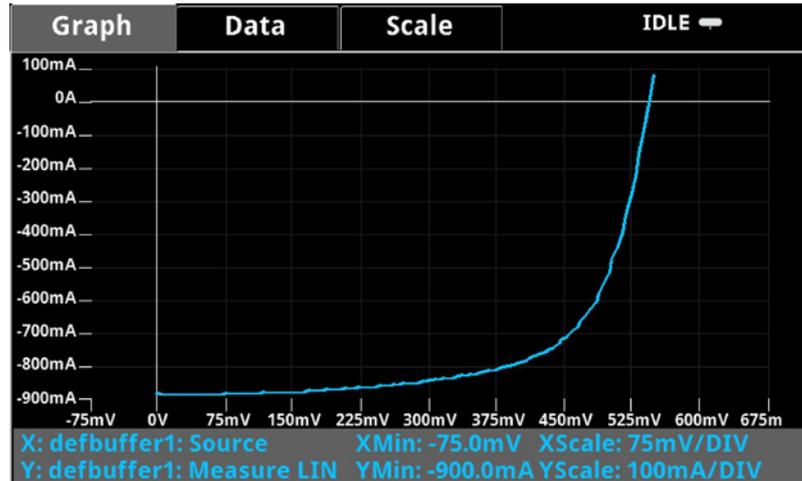
ПРИМЕЧАНИЕ

Для выполнения данного измерения потребуется управление источником света.

Выполнение измерения с передней панели:

1. Произведите подключение прибора к проверяемому устройству так, как описано в п. «[Подключение устройств](#)» (на странице 9-2).
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.
13. Задайте Stop level равным 0.55 V.
14. Задайте Step level равным 10 mV.
15. Перемещайтесь по экрану SWEEP SETTINGS, проводя по нему пальцем до тех пор, пока не увидите Source Limit.
16. Выберите кнопку рядом с Source Limit и введите 1 A.
17. Щелкните **OK**.
18. Выберите **Generate**. Это задаст модель запускающего сигнала для развертки.
19. Нажмите клавишу **MENU**.
20. Под View выберите **Graph**.
21. Нажмите клавишу **TRIGGER**, чтобы запустить модель запускающего сигнала.
22. 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 2450 потребляет ток.

Рисунок 46: Пример измерения характеристик элемента солнечной батареи в виде графика на передней панели

Настройка параметров снятия ВАХ элемента солнечной батареи с помощью команд SCPI

Приведенная ниже последовательность команд SCPI позволяет снимать ВАХ элемента 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 0.55 В с шагом 10 мВ и измеряется результирующий ток элемента 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 2 SOUR:VOLT:ILIM 1 SOUR:SWE:VOLT:LIN 0, 0.53, 56, 0.1 :INIT *WAI TRAC:DATA? 1, 56, "defbuffer1", SOUR, READ</pre>	<ul style="list-style-type: none"> • Сброс модели 2450. • Настроить на измерение тока. • Настроить на измерение с автодиапазоном. • Настроить на использование 4-хпроводной схемы. • Настроить на вывод напряжения. • Задать диапазон источника равным 2 В. • Задать предельный ток равным 1 А. • Настроить на развертку напряжения от 0 до 0,53 В за 56 шагов с задержкой 0,1 с. • Запустить развертку. • Дождаться завершения развертки. • Считать значения источника и тока из defbuffer1.

Настройка параметров ВАХ элемента солнечной батареи с помощью команд TSP

ПРИМЕЧАНИЕ

Следующий код TSP спроектирован для запуска с помощью Keithley Instruments Test Script Builder (TSB, средство построения проверочных сценариев). TSB – это программное средство на одном из компакт-дисков, поставляемых вместе с моделью 2450. Вы можете установить TSB, чтобы писать код и разрабатывать сценарии для поддерживаемых TSP приборов. Подробнее об использовании TSB см. в онлайн-справке к TSB и в разделе «Введение в работу с TSP» «Справочного руководства к модели 2450».

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

По умолчанию модель 2450 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 0.53 В за 56 шагов. Прибор во время развертки измеряет результирующий ток элемента солнечной батареи.

Для выполнения данного измерения отправьте следующие команды:

```
--Определить число точек для развертки.
num = 56
--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.ilimit.level = 1
smu.source.sweeplinear("SolarCell", 0, 0.53, num, 0.1)
--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)
--Отобразить значения на передней панели.
display.changescreen(display.SCREEN_USER_SWIPE)
display.settext(display.TEXT1, string.format("Pmax = %.4fW", pmax))
display.settext(display.TEXT2, 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 47: Результаты снятия ВАХ элемента солнечной батареи на дополнительном экране USER



После запуска кода измеренный ток, напряжение и вычисленная мощность отображаются в консоли прибора (Instrument Console) в Test Script Builder. Вы можете скопировать эти данные 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 элемента солнечной батареи была проведена с включенным источником света (light ON) и с выключенным источником света (light OFF).

Рисунок 48: ВАХ элемента солнечной батареи, полученные с включенным источником света и с выключенным источником света

