

A GREATER MEASURE OF CONFIDENCE

KEITHLEY
A Tektronix Company

14

ИЗМЕРЕНИЯ И ТЕСТИРОВАНИЕ *справочник по продукции*

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ■ НАНОТЕХНОЛОГИИ ■ ПРОИЗВОДСТВО ПОЛУПРОВОДНИКОВ ■ БЕСПРОВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ■ ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ

Компания Keithley стремится соответствовать ожиданиям заказчиков

Keithley имеет давнюю репутацию компании, обеспечивающей первоклассное обслуживание через международную сеть центров технической поддержки и консультирования. Какие бы вопросы или проблемы ни возникли, достаточно просто позвонить, и Вам помогут – быстро и качественно.

Отдел измерительных задач компании Keithley консультирует заказчиков по техническим вопросам как до, так и после приобретения аппаратуры. Его специалисты всегда готовы помочь в решении задач измерения и тестирования на производстве и в лабораторных условиях применения. Вы можете обращаться к нашим специалистам в любой рабочий день, и они ответят на все ваши вопросы, связанные с измерениями. При этом они не просто отвечают на вопросы – они решают проблемы, возникающие в процессе подготовки и проведения измерений.

Вам требуется помощь?

Для получения помощи при разработке технического решения, оптимального для Вашей задачи, свяжитесь с местным торговым представителем или инженером компании Keithley. Контактный телефон для России и стран СНГ +7(495) 664 75 64 или Вы можете связаться с нами по электронной почте: moscow@tektronix.com. Для поиска ближайшего к Вам торгового представителя или инженера в других странах см. список в конце Каталога.

Интересуют цены?

За ценовым предложением Вы можете обратиться к нашим дистрибьюторам, список которых указан на сайте www.keithley.ru

Готовы сделать заказ?

Чтобы воспользоваться возможностями обслуживания высшего качества, оформляйте заказ в стране конечного использования и сообщите следующую информацию:

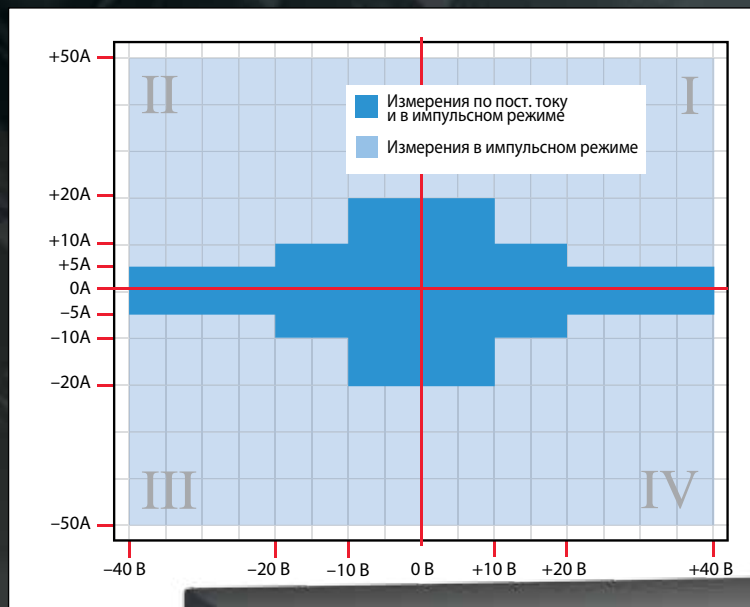
- Модель
- Номер по каталогу
- Описание
- Напряжение сети питания
- Сведения о дополнительных функциях и принадлежностях
- Тип компьютера (при заказе программного обеспечения или интерфейсных плат)

В данном Каталоге приведены лишь наиболее популярные технические решения Keithley для испытаний и измерений. Для получения информации обо всей продукции Keithley свяжитесь с местным торгово-сервисным представителем или посетите веб-страницу www.keithley.ru/find.

Содержание

Уникальные возможности и рекордная производительность: обзор.....	2–3
Прецизионные высокочувствительные источники-измерители и средства коммутации: обзор.....	4–5
Высокочувствительные высокоскоростные измерительные системы для применения в лабораторных и промышленных условиях: обзор.....	6–7
Прецизионные высокочувствительные источники-измерители и системы коммутации: обзор.....	8–9
Интернет-форумы технической поддержки: обзор.....	10
Источники-измерители (SMU)....	11–29
Тестирование полупроводников.	31–38
Измерения и формирование малых электрических сигналов	39–57
Коммутация и управление	59–69
Цифровые мультиметры и системы сбора данных	71–90
Источники постоянного тока и напряжения	91–101
Тестирование оптоэлектронных устройств	103–109
Список приборов, внесенных в Госреестр СИ РФ.....	110

Неизменное лидерство в технологии источников-измерителей (SMU)



Возможности измерения характеристик и тестирования новейших силовых электронных компонентов при помощи мощного источника-измерителя 2651A:

- Испытания силовых полевых транзисторов, сверхярких светодиодов и оптических устройств
- Измерение характеристик GaN, SiC и других композитных материалов и устройств
- Изучение эффектов электромиграции
- Исследование температуры полупроводниковых переходов



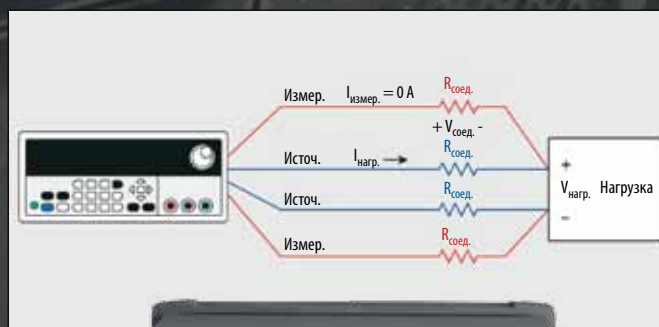
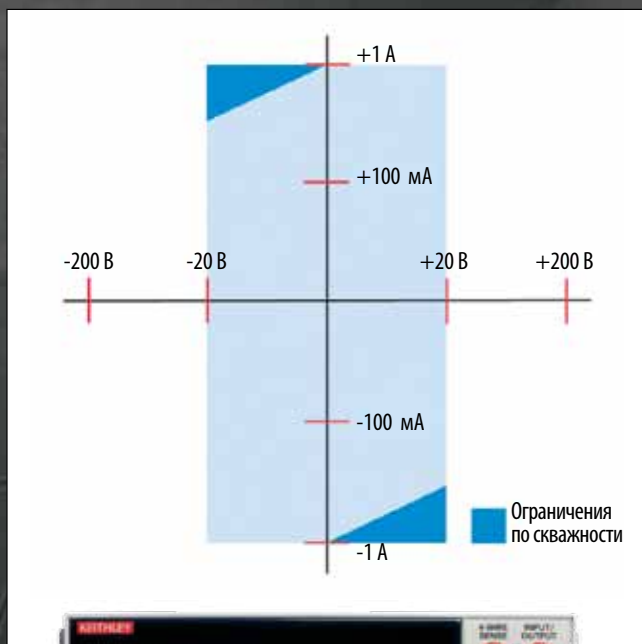
Беспрецедентная мощность, точность и скорость измерений для современной силовой электроники

Мощный источник-измеритель Keithley 2651A:

- мощность: до 2000 Вт в импульсном режиме и до 200 Вт в непрерывном режиме
- (предельные значения токов и напряжений в режиме источника и электронной нагрузки: до ± 40 В и ± 50 А)
- предельные значения токов и напряжений в режиме источника и электронной нагрузки при параллельном или последовательном соединении двух источников-измерителей Keithley 2651A: до 100 А и до 80 В
- разрешение по току и напряжению: до 1 пА и 1 мкВ
- АЦП 18 разр./1 мкс

Дополнительная информация приведена на с. 20.

В сочетании с уникальными возможностями и рекордной производительностью



Наиболее экономичный источник-измеритель

Низковольтный источник-измеритель модели 2401

- Компактный одноканальное устройство для параметрического тестирования по постоянному току
- Прецизионный источник и измеритель в диапазоне до 20 Вт/20 В/1 А с разрешением 1 мкВ/10 пА
- Низкая цена



Высокая производительность, много- функциональность и простота использования

Программируемые источники питания постоянного тока серии 2200

- Пять экономичных моделей с выходными напряжениями от 20 В до 72 В для широкого круга задач
- Разрешение: 1 мВ; 0,1 мА
- Низкий уровень шума, линейный источник питания
- Выходы на передней и задней панелях, дополнительные входы для сигнала ошибки, настольное и стоечное исполнение

Дополнительная информация приведена на с. 23.

Дополнительная информация приведена на с. 98.

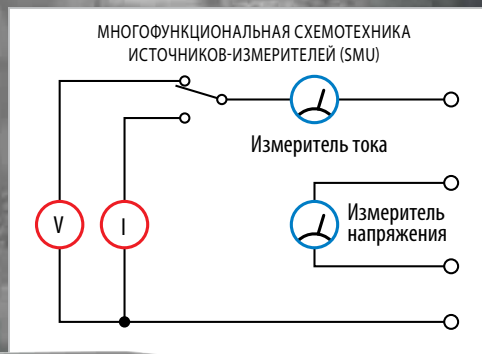
Гарантия высокого качества для применения в современных технологиях электронных компонентов и устройств

СИЛОВЫЕ КОМПОНЕНТЫ И УСТРОЙСТВА

- Полупроводниковые приборы большой мощности
- Новейшие батареи
- Маломощные интегральные схемы
- Солнечные элементы

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ

- Датчики
- Резисторные сборки
- Варисторы
- Термисторы



Базовый компонент для высокоскоростных измерений вольтамперных характеристик

Двухканальные источники-измерители серии 2600B

- Сверхвысокая точность установки токов и напряжений в режиме источника и электронной нагрузки: 5 мкВ, 20 фА
- Сверхчувствительные измерения: 1 мкВ, 1 фА
- Работа в импульсном режиме и встроенные возможности программирования

Дополнительная информация приведена на с. 20.

Прецизионное средство измерения, обеспечивающее:

- **сверхвысокую точность установки токов и напряжений в режиме источника и электронной нагрузки;**
- **измерение тока, напряжения и сопротивления.**

Источники-измерители серии 2400

- Разрешение источников тока и напряжения: 5 мкВ, 50 пА
- Чувствительность при измерении напряжения и тока: 1 мкВ, 50 пА
- Диапазон напряжений и токов: до 1000 В и 10 А

Дополнительная информация приведена на с. 23.

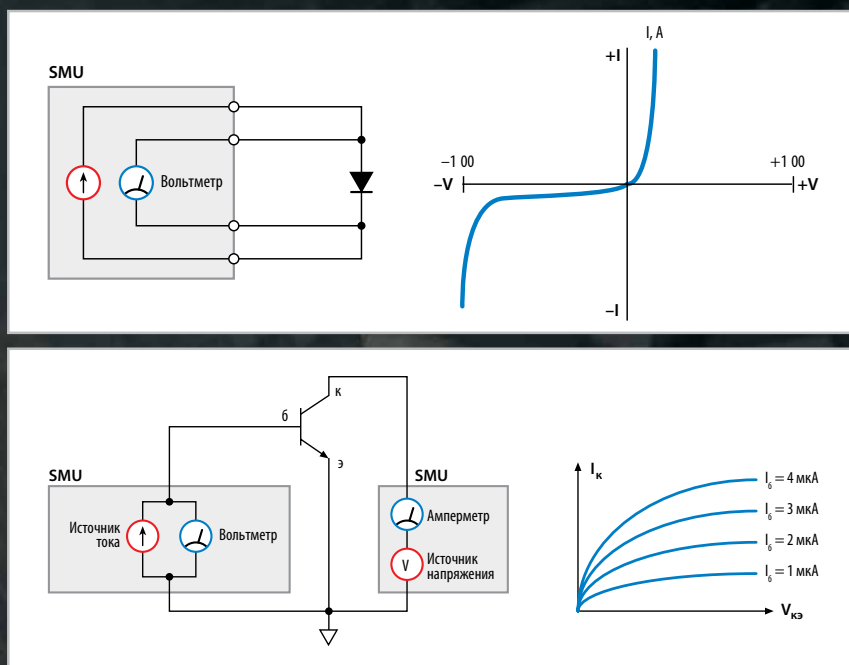
Прецизионные высокочувствительные источники-измерители и средства коммутации

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА

- сверхяркие светодиоды, органические светодиоды и твердотельные источники света
- фотодиоды
- лазерные диоды

МЕДИЦИНСКИЕ/АВТОМОБИЛЬНЫЕ/КОМПЬЮТЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА И МОДУЛИ

- гибридные автомобильные электронные компоненты
- имплантируемые медицинские устройства
- GMR-головки



Высокоскоростные средства измерений и коммутации, оптимизированные для проведения автоматизированного тестирования



Система коммутации модели 3706A со встроенным высокопроизводительным цифровым мультиметром

- Широкий выбор плат коммутации
- Конфигурации: система коммутации или система коммутации со встроенным 7,5-разрядным цифровым мультиметром
- Полная интеграция с источниками-измерителями серии 2600B

Дополнительная информация приведена на с. 63.

Высокое разрешение, низкий уровень шума и с возможность измерения малых сопротивлений



Цифровой мультиметр модели 2010 с автоматическим переключением поддиапазонов

- Разрядность: 7,5
- Уровень собственных шумов: 100 нВ (средне-квадратич.)
- Чувствительность: 1 мкОм

Дополнительная информация приведена на с. 83.

Выход на рынок полупроводников следующего поколения

Измерение характеристик устройств – Измерение характеристик материалов – Анализ отказов – Измерения на пластине

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПАМЯТИ

- Флэш-память
- Память на основе фазового перехода
- Резистивная память

НОВЕЙШИЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Квантовые источники энергии и материалов и устройства на основе композитов
- Устройства, использующие графены и углеродные нанотрубки

ШИРОКИЙ СПЕКТР ИЗМЕРЕНИЙ

- Сверхпроводящие материалы и материалы, имеющие малое сопротивление
- Поверхностное/объемное удельное сопротивление -изоляторов
- Температурная нестабильность смещения
- Электромиграция
- Технология переходных отверстий в кремнии

**Наиболее экономичные
и полностью автоматизированные
параметрические системы
тестирования**

**Параметрические системы тестирования
серии S530**

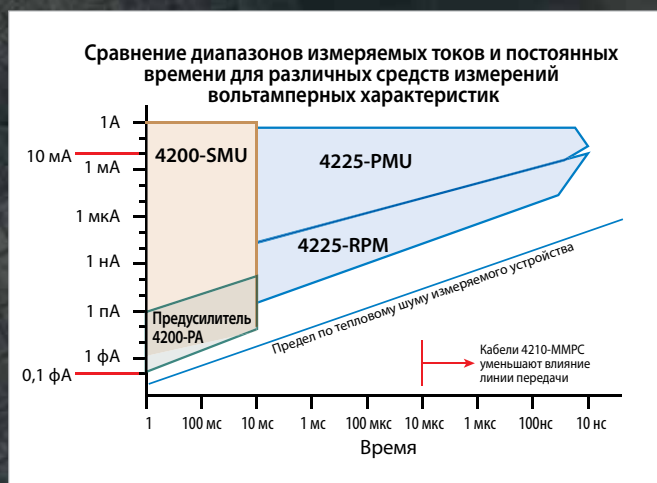
- Высокая производительность и гибкость
- Оптимизированы для смешанных измерений и комбинированных методов тестирования
- Разрешение порядка фА и мкВ
- Источники: до 1000 В
- Программное обеспечение КТЕ для облегчения перехода с более старых систем
- Измерения по четырехпроводной (кельвиновской) схеме во всем диапазоне напряжений (для модели High Voltage Model S530)



Дополнительная информация приведена на с. 32.

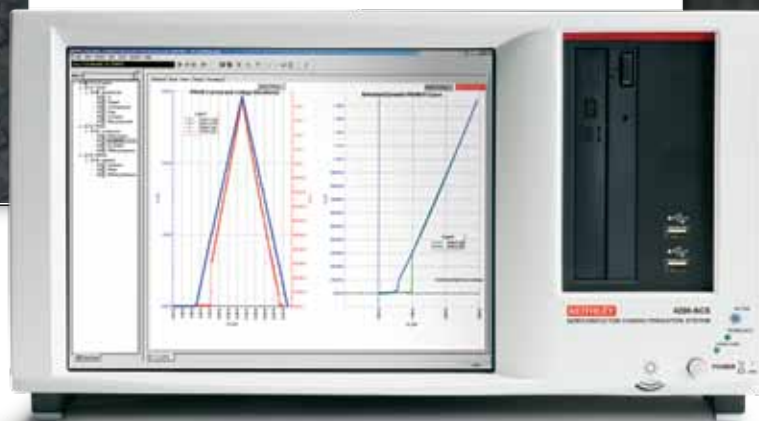
с чувствительными высокоскоростными средствами измерений для применения в лабораторных и промышленных условиях

Испытания на надежность – Мониторинг процессов – Контроль качества



Система для измерения характеристик полупроводниковых материалов и приборов 4200-SCS

- Измерение вольтамперных характеристик (ВАХ) по постоянному току и в импульсном режиме, измерение вольт-фардных характеристик (ВФХ), и исследование переходных процессов
- Построение графиков и анализ в реальном масштабе времени
- Библиотека для более чем 400 устройств

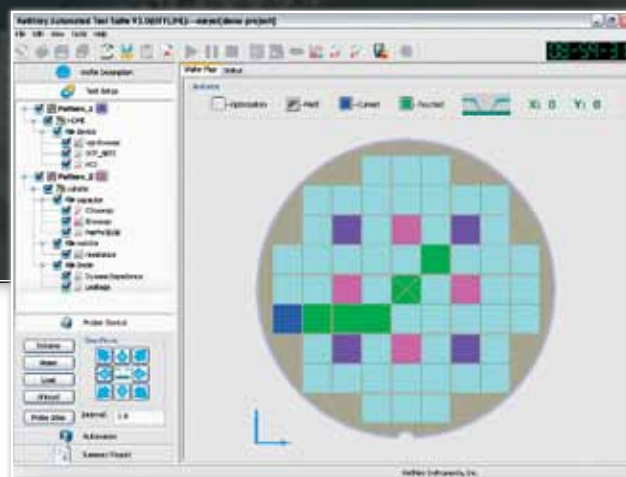


Повышение скорости тестирования, сокращение времени выхода на рынок и возможность тестирования разнообразных устройств

Система для измерения характеристик полупроводниковых материалов и приборов 4200-SCS

- Выполняет измерения ВФХ как на очень низких частотах, так и в диапазоне до 10 МГц
- Позволяет выполнять параллельные испытания большего числа устройств, чем любая другая конкурирующая система
- Может содержать до 12 синхронных сверхбыстрых каналов измерения ВАХ с возможностью работы в импульсном режиме

Дополнительная информация приведена на с. 34.



Программное обеспечение для тестирования и анализа полупроводниковых устройств

Пакет Automated Characterization Suite (ACS)

- Может включать в себя широкий спектр средств измерения, коммутации и зондовых станций
- Интерактивный или полностью автоматизированный режим работы
- Возможность проведения измерений на уровне устройств или полупроводниковой пластины

Дополнительная информация приведена на с. 36.

Возможность углубленного исследования физических и химических свойств новых материалов

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- Графены и углеродные нанотрубки
- Органическая электроника
- Сверхпроводники
- Магниторезистивные материалы

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

- Биотопливо
- Солнечные элементы
- Возобновляемые источники энергии

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НОВЫХ ОБЛАСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ, в т.ч.

- дисплеев на органополимерных «электронных чернилах»
- гибких пластиковых TFT-дисплеев
- дисплеев на органических светодиодах

**Источники постоянного и переменного тока
тока с исключительно низким уровнем шума**



Источники тока моделей 6220 и 6221

- разрешение: 100 фА
- выходное сопротивление: 10^{14} Ом
- генератор сигналов произвольной формы (модель 6221)

Дополнительная информация приведена на с. 46.

Точные измерения малых токов



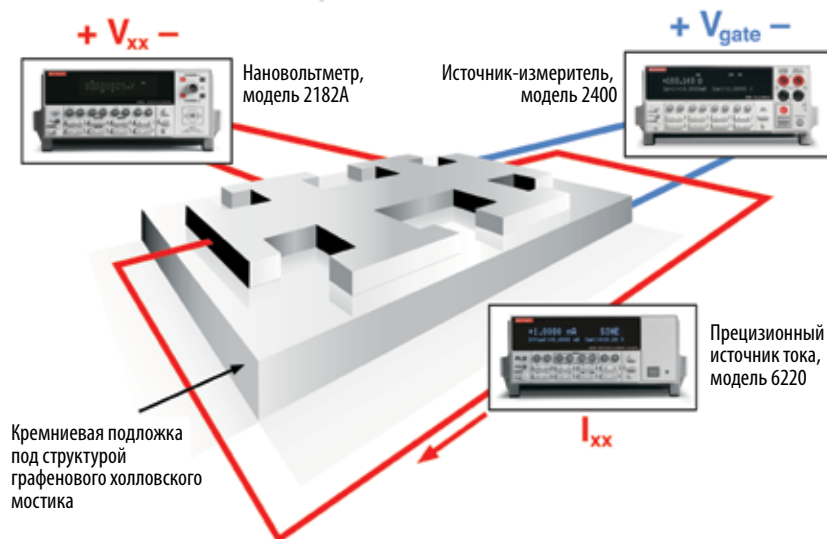
Пикоамперметры моделей 6485 и 6487

- Чувствительность: 10 фА
- падение напряжения: < 200 мкВ
- Встроенный источник напряжения: ± 500 В (модель 6487)

**Дополнительная информация приведена
на с. 53 и 54.**

при помощи сверхчувствительных источников-измерителей

Измерение поверхностного удельного сопротивления как функции напряжения затвора графенового холловского мостика



- Малое сопротивление: 10 нОм
- Малый ток: 1 фА
- Низкое напряжение: 1 нВ
- Высокое сопротивление: 10^{18} Ом
- Сверхвысокое входное сопротивление: $>200 \times 10^{12}$ Ом

Коммутация сверхслабых сигналов



Система коммутации модели 7001

Сканирующая плата для слабых сигналов модели 7158

- Уникальная плата для исследования эффекта Холла
- Мультиплексор нановольтовых сигналов 1x8
- Мультиплексор и коммутационная матрица для малых токов

Дополнительная информация
приведена на с. 64 и 66.

Измерение характеристик материалов с высокой проводимостью



Нановольтметр модели 2182А

- Входной шум (размах): 15 нВ
- Разрешение: 1 нВ
- Измерение сопротивлений до 10 нОм (совместно с 6220 или 6621)

Дополнительная информация
приведена на с. 45.

Измерение характеристик изолирующих материалов (до 10^{18} Ом)



Электрометр и измеритель больших сопротивлений модели 6517В

- Разрешение по току: 100 аА
- Входное сопротивление: 200 ТОм
- Разрешение по заряду: 10 фКл

Дополнительная информация
приведена на с. 52.

Интернет-форум технической поддержки

Ежедневная круглосуточная поддержка и консультации по вопросам эксплуатации (на английском языке)

- **Технический форум** – вы можете в любое время задать вопросы опытным техническим специалистам компании Keithley.
- **Обсуждения** – присоединяйтесь к дискуссиям и делайте предложения, добавляйте комментарии и делитесь историями.
- **Архив** – ищите аналогичные вопросы и ответы на них.
- **Обучающие видеоматериалы** – просматривайте шаг за шагом по мере необходимости любое число раз по адресу www.youtube.com/KeithleyInst.



Другие информационные ресурсы

Круглосуточно семь дней в неделю открыт доступ к онлайн библиотеке, в которой собраны материалы вебинаров и литература, в том числе указания по использованию, статьи, справочники, техническая документация и другая информация.

Источники-измерители (SMU)

Эффективные решения для автоматизированного тестирования и измерения вольтамперных характеристик, параметров по току и напряжению

- 12 **Техническая информация**
- 18 **Сравнительная таблица**
- 20 **Самые высокие в отрасли скорость тестирования и плотность размещения аппаратуры в стойке с возможностью быстрого увеличения числа измерительных каналов:**
Многоканальные комплексы для измерения тока и напряжения на основе источников-измерителей серии 2600B
- 23 **Широчайший динамический диапазон по току и напряжению для задач высокоскоростного автоматизированного промышленного тестирования и для лабораторного применения:**
Источники-измерители серии 2400

Техническая информация

Все источники-измерители (SMU) компании Keithley могут выполнять функции источника напряжения с измерением тока и источника тока с измерением напряжения. Некоторые модели позволяют также измерять сопротивление. Все они являются полностью программируемыми и могут использоваться автономно для подачи тока или напряжения, на тестируемое изделие и для выполнения измерений, в том числе в автоматическом режиме. Кроме того, их легко интегрировать в более крупные измерительные системы.

Источники-измерители компании Keithley быстрее, удобнее в эксплуатации и экономичнее, чем измерительные стенды, собранные из отдельных источников питания и измерительных приборов. Кроме того, они позволяют получать более точные и повторяемые результаты. Источники-измерители компании Keithley идеально подходят для применения на производстве и в системах автоматизации, в то же время обладая достаточной точностью и чувствительностью для лабораторных задач.

Модельный ряд источников-измерителей производства Keithley включает серии 2400, 2600B, высоковольтный источник-измеритель модели 237 и систему для измерения характеристик полупроводниковых материалов и устройств модели 4200-SCS.

Как работает источник-измеритель?

Источники-измерители могут использоваться в качестве автономных источников постоянного напряжения или постоянного тока и в качестве автономных вольтметров или амперметров. Однако их подлинное преимущество заключается в способности одновременно быть источником и измерительным прибором – прикладывать напряжение к тестируемому устройству (нагрузке) и измерять проходящий через него ток или подавать ток в нагрузку и измерять падение напряжения на ней.

Устройство источника-измерителя (рис. 1) защищает тестируемое устройство (DUT) от повреждения в результате случайных перегрузок, перегрева и других нежелательных эффектов. Возможность программирования источника тока и напряжения и непрерывный контроль параметров позволяют достичь максимальной надежности измерения или тестирования. Если в процессе измерения достигается один из установленных порогов (например, по току, напряжению, мощности в нагрузке и др.), источник-измеритель автоматически защищает тестируемое устройство, ограничивая ток или напряжение.

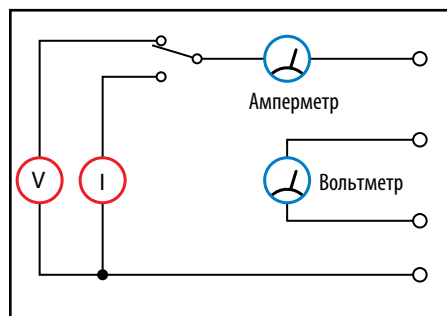
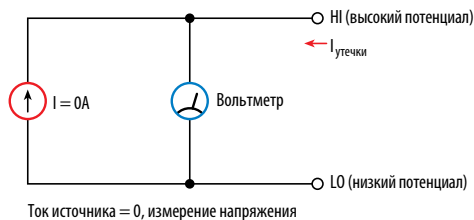


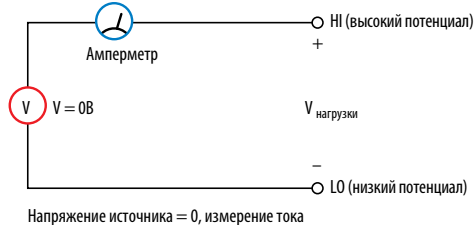
Рис. 1. Структурная схема источника-измерителя

Конфигурация в режиме вольтметра



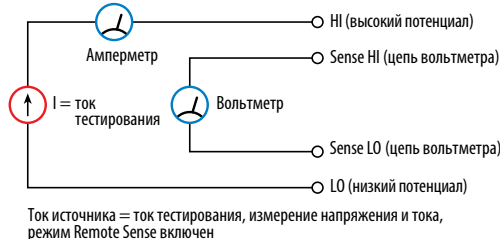
Рекомендация. Для минимизации тока утечки до следует использовать наименьший диапазон источника тока при установке нулевого тока.

Конфигурация в режиме амперметра



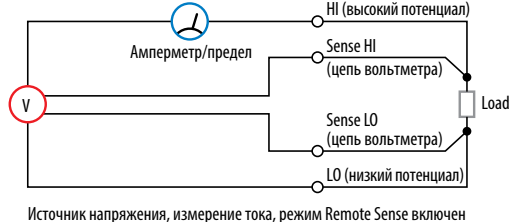
Рекомендация. Для минимизации падения напряжения на нагрузке следует использовать наименьший диапазон источника напряжения при установке нулевого напряжения.

Конфигурация в режиме омметра



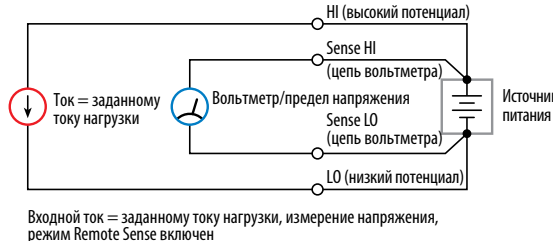
Рекомендация. Функция автоматического выбора предела Auto Ohms источников-измерителей серии 2400 автоматически выбирает наилучшие ток тестирования и диапазон напряжения для оптимального измерения сопротивления. Для достижения наилучшей точности следует использовать четырехпроводную схему подключения (схему Кельвина).

Конфигурация в режиме источника питания



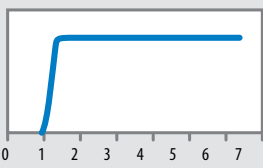
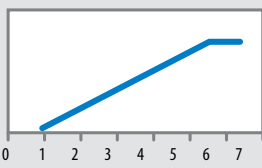
Рекомендация. Для обеспечения заданного напряжения на нагрузке при большом токе следует использовать четырехпроводную схему подключения.

Конфигурация в режиме электронной нагрузки



Рекомендация. Необходимо убедиться в том, что предел напряжения задан выше максимального выходного напряжения источника питания. Для обеспечения точного измерения напряжения при больших потребляемых токах следует использовать четырехпроводную схему подключения.

Рис. 2. Конфигурации источника-измерителя в различных режимах

	Источник-измеритель модели 2602B	Обычный источник питания
Скорость		
Погрешность источника (измерителя) тока	10 мкА (5 нА)	10 мкА (2500 нА)
Диапазон и разрешение по напряжению и току	Напряжение 1 мкВ — 40 В Ток 1 пА — 3 А	Напряжение 1 мкВ — 1 МВ — 40 В Ток 1 пА — 1 мА — 3 А
Четырех-квадрантный диапазон		

Источники-измерители оптимизированы для обеспечения высокой скорости и точности. В большинстве моделей оба источника (напряжения и тока) выходят на режим в пределах 0,01% указанной погрешности всего за 50 мкс. Это в 50 раз быстрее, чем способен обеспечить обычный источник питания

Источники-измерители обеспечивают значительно лучшее разрешение по напряжению и по току, чем обычные источники питания. Это существенно расширяет сферу применения источников-измерителей

Обычный источник питания подает напряжение или ток. Источник-измеритель также является источником питания, но также может потреблять (рассеивать) мощность от внешнего источника. Таким образом, он может работать в четырех квадрантах выходной вольтамперной характеристики. В квадрантах I и III он подает мощность в нагрузку (режим источника), а в квадрантах II и IV – рассеивает мощность внешнего источника (режим электронной нагрузки). Напряжение, ток и сопротивление можно измерять как режиме источника, так и в режиме электронной нагрузки. Обычный источник питания работает только в квадранте I.

Рис. 3. Сравнение прецизионного источника питания с источником-измерителем

Преимущества

Сочетание питающих и измерительных цепей в одном корпусе:

- обеспечивает большую скорость тестирования в сочетании с повышенной точностью и повторяемостью результатов измерений;
- позволяет без дополнительных подключений подавать напряжение или ток во время измерения напряжения, тока и сопротивления с заданными временными метками;
- устраняет множество проблем, связанных с синхронизацией, схемами соединений и программированием, возникающих при совместном использовании нескольких приборов;
- минимизирует время, необходимое для разработки, настройки и обслуживания измерительных и испытательных стендов;
- снижает общую стоимость владения системой.

Какая конфигурация источников-измерителей наиболее популярна?

Полностью изолированные источники-измерители компании Keithley обеспечивают максимальную гибкость при настройке измерительных стендов. Источники-измерители могут быть сконфигурированы для выполнения различных функций (рис. 2). Это делает их ценнейшими инструментами для применения в универсальных системах входного и выходного контроля, а также в настольных измерительных системах для исследований и разработок.

Каковы возможности источников-измерителей в сравнении с прецизионными источниками питания?

Источники питания, входящие в состав источников-измерителей компании Keithley, превосходят по своим параметрам обычные источники питания, что показано на рис. 3. Помимо высокой стабильности по постоянному току, низкого уровня шума и наличия обратных связей, источники-измерители компании Keithley обладают возможностями, которые, как правило, отсутствуют у обычных источников питания. Например, большинство источников-измерителей могут работать в импульсном режиме, в том числе с программируемыми задержками, и оснащены процессором для программирования тестовой последовательности, который позволяет настраивать и выполнять тестирование

без использования компьютера. На рис. 4 показан пример типового теста для прецизионного источника питания, реализуемого с помощью источника-измерителя.

Определение параметров по току и напряжению

Источники-измерители компании Keithley – это основные приборы для измерения параметров устройств по току и напряжению. Их способность прикладывать напряжение, одновременно измеряя ток, или подавать ток, одновременно измеряя напряжение, может использоваться для получения параметров по постоянному току, в т.ч. в режиме развертки: прямого напряжения (V_x), обратного тока утечки и обратного напряжения пробоя (V_B), не требуя никаких переподключений к тестируемому устройству (рис. 5).

Встроенные средства управления позволяют синхронизировать несколько источников-измерителей для проведения параметрических измерений таких характеристик, как пороговое напряжение, коэффициент усиления по току и крутизна характеристики транзистора. Цепи блокировки обеспечивают защиту при использовании держателей образцов, что особенно важно при работе в расширенном диапазоне напряжений (до 1100 В для моделей 237, 2410 и до 3000 В для модели 2657B). Четырехпроводная схема подключения с охраняемым экранированием (guarding) позволяет выполнять точные измерения в диапазоне от 1 фА до 50 А.

Техническая информация (продолжение)

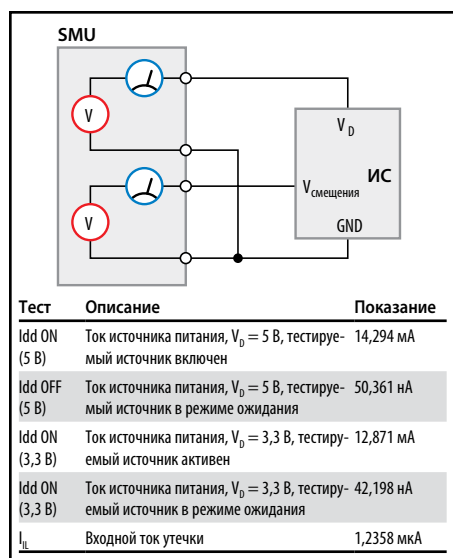


Рис. 4. Типовой тест прецизионного источника питания

Семейство вольтамперных характеристик трехполупроводника можно получить с помощью всего двух источников-измерителей (рис. 6). Для каждого значения тока базы, подаваемого от источника-измерителя 1, источник-измеритель 2 подает напряжение между коллектором и эмиттером ($V_{КЭ}$) и измеряет ток коллектора (I_K). Источник-измеритель позволяет сохранять данные, полученные в процессе развертки, в буферной памяти, сокращая тем самым время, необходимое для передачи данных к компьютеру. Для уменьшения мощности, рассеиваемой устройством, семейство характеристик также может быть измерено в импульсном режиме.

Встроенные развертки

Источники-измерители компании Keithley упрощают сбор данных, необходимых для измерения характеристик широкого спектра устройств, благодаря встроенным генераторам разверток, работающим в непрерывном и импульсном режиме и формирующим линейно возрастающий ступенчатый сигнал, логарифмически возрастающий ступенчатый сигнал, а также развертки на основе значений тока или напряжения, предварительно заданных пользователем (рис. 7). Наличие генераторов развертки в сочетании с другими средствами повышения производительности, такими как встроенный контроль предельных значений, цифровые входы и выходы, интерфейс для управления манипулятором, создает идеальные условия для непрерывной и высокоскоростной работы в условиях производства. Все параметры развертки можно запрограммировать как для проведения однократного измерения, так и для непрерывной работы.

Аппаратные и программные средства для измерения параметров по току и напряжению

На рис. 8 показаны различные аппаратные и программные средства, используемые для измерения параметров тока и напряжения. В первом примере источник-измеритель серии 2400 подключен к компьютеру.

Во втором примере источники-измерители серии 2600В подключены к компьютеру с использованием технологии TSP-Link®. Технология TSP-Link позволяет органично интегрировать несколько источников-измерителей серии 2600В

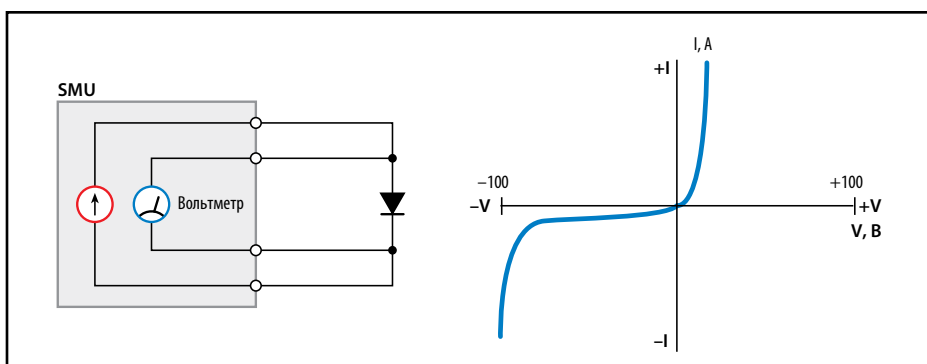


Рис. 5. Типовая вольтамперная характеристика диода

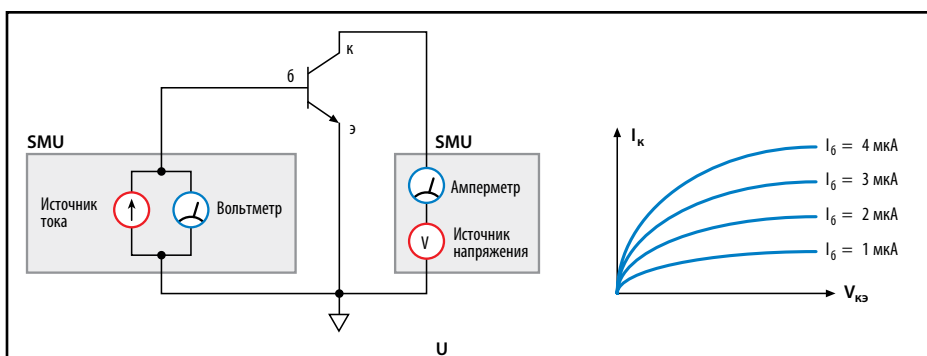


Рис. 6. Типовое семейство вольтамперных характеристик транзистора

в единую систему, программирование и управление которой можно осуществлять с помощью одного прибора, в качестве которого может выступать ведущий источник-измеритель серии 2600В или компьютер.

В третьем примере показана система для измерения характеристик полупроводниковых материалов и устройств модели 4200-SCS. Система содержит встроенный компьютер с операционной системой Windows® и накопитель большой емкости и является законченным решением для измерения характеристик полупроводниковых компонентов и структур по постоянному току. В систему может быть включено до девяти модулей SMU, она оснащена разнообразным программным обеспечением, совместимым с Windows и настолько простым в использовании даже для начинающего пользователя. Программное обеспечение, построенное по принципу «укажи и выбери», предоставляет полный набор необходимых функций, в том числе для управления тестированием, составления отчетов, автоматического программирования тестовой последовательности и создания пользовательских библиотек. Комплекс 4200-SCS является универсальным однокорпусным решением, обеспечивающим измерение тока с разрешением доли фемтоампера, графическое отображение результатов измерений и анализ данных в режиме реального времени. К достоинствам системы относится наличие драйверов для внешних приборов и зондовых станций, программных интерфейсов с популярным программным обеспечением для моделирования электрических цепей и средства испытаний на надежность на уровне подложки.

Функциональное высокоскоростное тестирование на основе измерения тока и напряжения

Источники-измерители Keithley обеспечивают максимальную производительность в условиях производства. Каждый источник-измеритель обеспечивает высокоскоростные измерения, он оснащен компаратором «тест пройден/тест не пройден», программатором тестовой последовательности и цифровыми входами/выходами для управления манипуляторами (рис. 9). Может быть выполнено тестирование на соответствие одному или нескольким параметрам широкого спектра компонентов, таких как сетевые устройства, защитные приспособления цепей, активные дискретные элементы и датчики. Встроенный компаратор «тест пройден/тест не пройден» упрощает проведение высокоскоростного тестирования на соответствие, позволяя избежать задержек, обусловленных взаимодействием с компьютером через шину GPIB. Результаты сохраняются в буферной памяти, что также позволяет избежать указанных задержек.

Нужно больше выводов для тестирования?

Новая технология TSP-Link служит высокоскоростным интерфейсом для расширения системы. Она позволяет включить практически неограниченное число источников-измерителей серии 2600В в конфигурации ведущий/ведомый (рис. 10). Программирование и управление всеми подключенными источниками-измерителями серии 2600В может осуществляться с помощью ведущего прибора.

Вид развертки

Задаваемые параметры

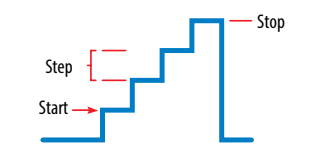
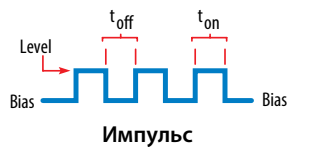
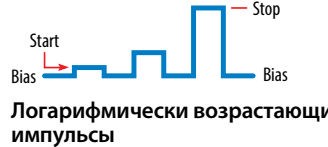
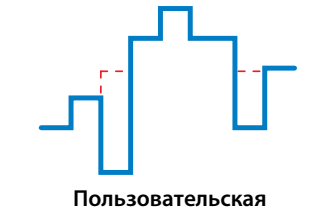
 Фиксированный уровень	LEVEL, COUNT (number of DELAY-MEASURE cycles), DELAY, BIAS	Развертка с фиксированным уровнем обеспечивает один уровень напряжения и тока на протяжении нескольких измерений при подаче смещения или для нагрузочных испытаний.
 Ступени одинаковой высоты	START, STOP, STEP, DELAY, BIAS	Линейная ступенчатая развертка проходит от начального уровня до конечного уровня ступенями одинаковой высоты.
 Ступени с логарифмически увеличивающейся высотой	START, STOP, POINTS/DECADE (5, 10, 25, or 50), DELAY, BIAS	Логарифмическая ступенчатая развертка аналогична линейной ступенчатой развертке, однако имеет логарифмический масштаб с заданным числом ступеней на декаду.
 Импульс	LEVEL, COUNT, t_{on}, t_{off}, BIAS	Импульсная развертка значительно снижает мощность, рассеиваемую устройством, поэтому практически исключается влияние температуры (дрейф, отказы устройства и т. п.).
 Линейно возрастающие импульсы	START, STOP, STEP, t_{on}, t_{off}, BIAS	Импульсная развертка значительно снижает мощность, рассеиваемую устройством, поэтому практически исключается влияние температуры (дрейф, отказы устройства и т. п.).
 Логарифмически возрастающие импульсы	START, STOP, POINTS/DECADE (5, 10, 25, or 50), t_{on}, t_{off}, BIAS	Импульсная развертка значительно снижает мощность, рассеиваемую устройством, поэтому практически исключается влияние температуры (дрейф, отказы устройства и т. п.).
 Пользовательская	Пользовательские развертки дают возможность запрограммировать индивидуальные ступени и создать форму сигнала	Пользовательский режим позволяет сформировать специальные виды развертки, указав число точек измерения и уровень тока или напряжения источника для каждой точки.

Рис. 7. Различные виды развертки, обеспечиваемые источниками-измерителями

Техническая информация (продолжение)

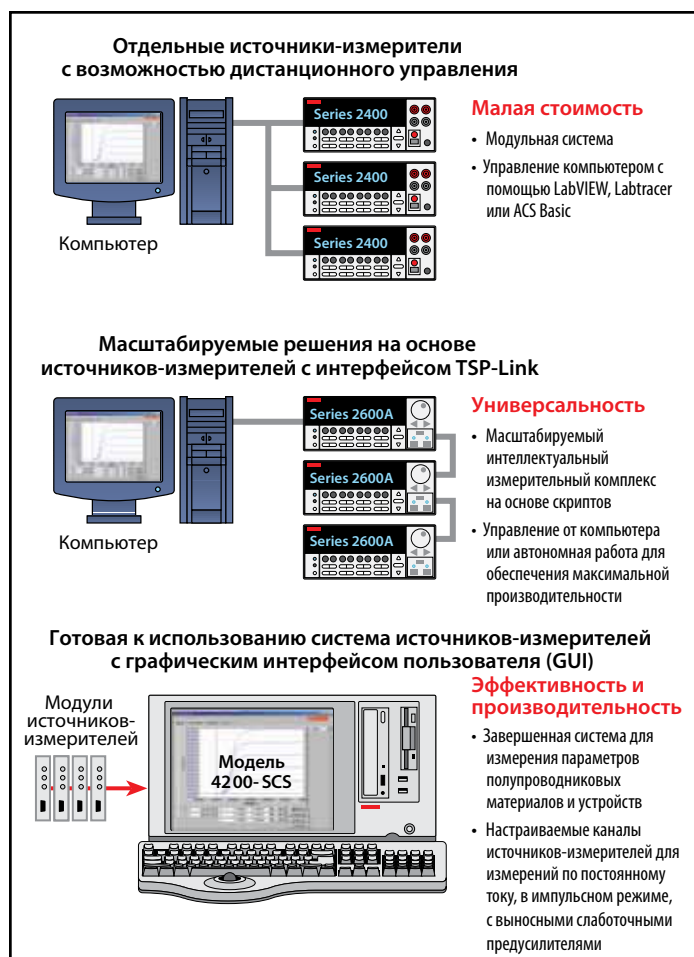


Рис. 8. Примеры технических решений для измерения параметров по току и напряжению

Технология TSP-Link позволяет легко увеличивать или уменьшать число измерительных каналов в системе в соответствии с требованиями решаемой задачи.

Для синхронизации нескольких источников-измерителей серии 2400 могут использоваться триггерные линии.

Возможность проведения параллельного тестирования

Источники-измерители серии 2600B позволяют выполнять полноценное параллельное тестирование. Каждый источник-измеритель 2600B в составе системы может выполнять собственные тестовые последовательности, что позволяет одновременно тестировать столько устройств, сколько моделей 2600B содержится в системе. Возможность параллельного тестирования в сочетании с большим быстродействием каждого источника-измерителя (до 20 000 измерений/с) позволяет создавать системы с чрезвычайно высокой производительностью.

Современные средства автоматизации повышающие производительность

Технология TSP® в источниках-измерителях серии 2600B

Любые источники-измерители серии 2600B или построенные на их основе системы могут выполнять встроенные высокоскоростные сценарии тестирования, задаваемые в виде скриптов, благодаря технологии TSP (процессор сценариев тестирования). Тестовая последовательность

обрабатывается и выполняется встроенным компьютером, а не внешним ПК. Это позволяет избежать задержек, вызванных перегрузкой интерфейсной шины GPIB (рис. 11). Использование тестовых скриптов позволяет получить 10-кратный прирост производительности по сравнению с компьютерными программами, управляющими теми же приборами через шину GPIB. Тестовые скрипты TSP можно загружать и запускать с передней панели или через интерфейс GPIB. Один тестовый сценарий, выполняющийся на источнике-измерителе серии 2600B (режим ведущего), может управлять всеми каналами и получать данные от любого прибора 2600B, подключенного к системе при помощи технологии TSP-Link.

Система, построенная с использованием источников-измерителей серии 2600B, может работать автономно как полнофункциональный автоматизированный измерительный комплекс для тестирования полупроводниковых устройств или компонентов. В этом случае ведущее устройство управляет входными воздействиями, измерениями, принятием решений о прохождении/непрохождении теста, выполнением тестовой последовательности, сортировкой по параметрам, взаимодействует с манипулятором для установки компонентов, зондовой станцией и другими внешними устройствами.

Тестовые последовательности источников-измерителей серии 2400

Функция записи тестовой последовательности (Source-Memory List), имеющаяся в источниках-измерителях серии 2400, предназначена для тестирования в условиях производства. Она позволяет запрограммировать последовательность до 100 тестов. Каждый тест может содержать совершенно разные условия тестирования, измерения, математические операции, критерии прохождения/непрохождения и сортировки. Тесты выполняются последовательно, не требуя дополнительных внешних команд. Условное ветвление позволяет в зависимости от результатов перейти к различным пунктам тестовой последовательности.

Функция тестовой развертки (Source-Memory Sweep) позволяет сохранить в энергонезависимой памяти до 100 уникальных конфигураций источника и измерителя. Эта функция позволяет последовательно пройти набор команд и выполнить всю последовательность тестирования за один раз.

Цифровые входы и выходы

Цифровой обмен данными — это одно из основных требований к производственной системе тестирования для взаимодействия с манипуляторами, сортировочным оборудованием и пользовательской системой управления. Цифровые входы и выходы источников-измерителей также могут использоваться при взаимодействии с приборными комплексами для формирования и приема триггерных сигналов, для сбора данных. Использование триггерных сигналов обеспечивает высокую скорость и надежность измерений, не зависящие от типа используемой шины (модель 2401 не оснащена цифровыми входами и выходами).

Проверка контактов

Дополнительная функция проверки контактов позволяет избежать ошибок измерений и ложной отбраковки изделий благодаря использованию простой и быстрой проверки качества соединений с тестируемым устройством перед началом тестирования. Процедура проверки и уведомления, выполняемая этой функцией всего за 350 мкс (серия 2400) или за 1 мс (серия 2600B), позволяет убедиться в наличии хорошего контакта с устройством до подачи мощности к устройству, тем самым экономя время на его тестирование (рис. 12) (модель 2401 не может быть оснащена функцией проверки контактов).

Износ, повреждение, загрязнение, коррозия контактов, обрыв или поломка разъемов, отказы реле — вот только некоторые из неполадок, которые способна обнаружить эта функция при проверке разъемов, соединений и целостности измерительных цепей. При обнаружении плохого контакта эта функция позволяет отменить измерение, защищая тем самым тестируемое устройство. Предусмотрено три способа оповещения о неполадках.

Функция проверки контактов разработана для высокопроизводительных методов тестирования, использующих 4- или 6-проводную схему подключения. В источниках-измерителях серии 2400 для проверки качества контактов предусмотрено три пороговых значения (2 Ом, 13 Ом и 50 Ом). Если сопротивление при хорошем соединении в норме превышает 50 Ом, то для таких задач нельзя использовать встроенную функцию проверки контактов и следует рассмотреть возможность использования других методов. Приборы серии 2600B обеспечивают большую универсальность благодаря возможности программирования произвольных пороговых значений.

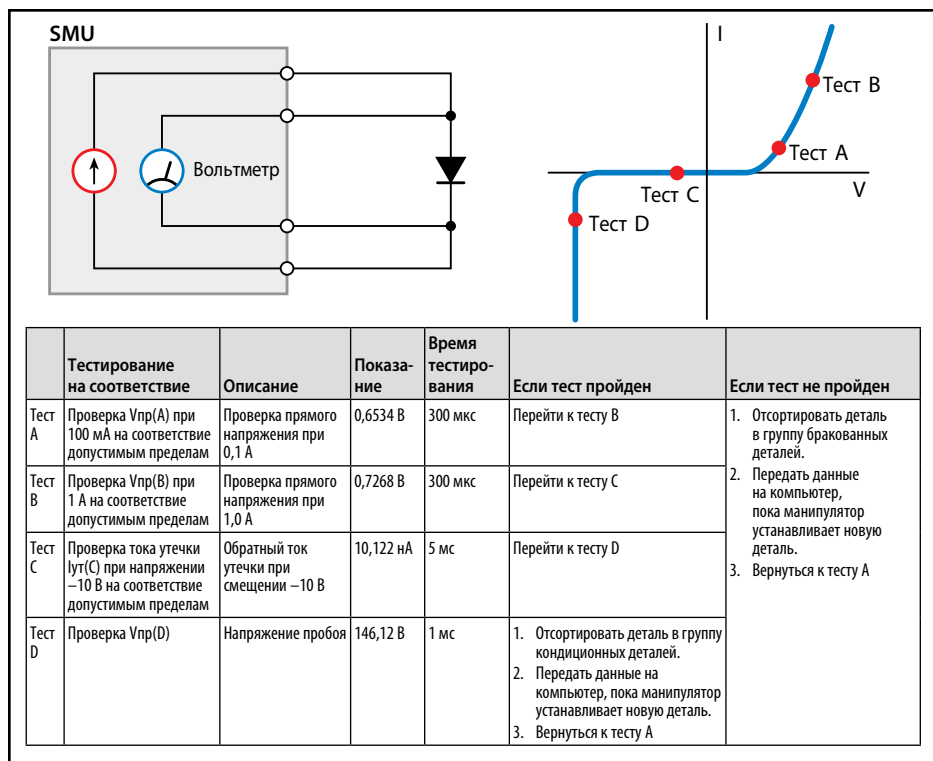


Рис. 9. Функциональные типовые высокоскоростные испытания, использующие измерение параметров тока и напряжения

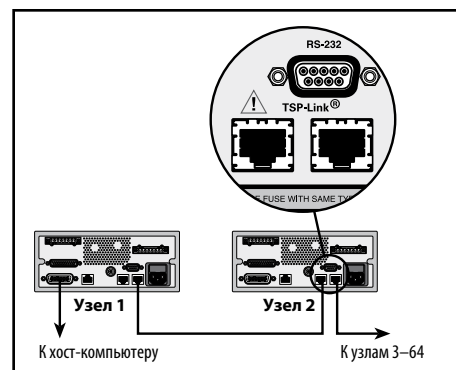


Рис. 10. Задняя панель приборов серии 2600B



Рис. 11. Пример сценария тестирования для источника-измерителя серии 2600

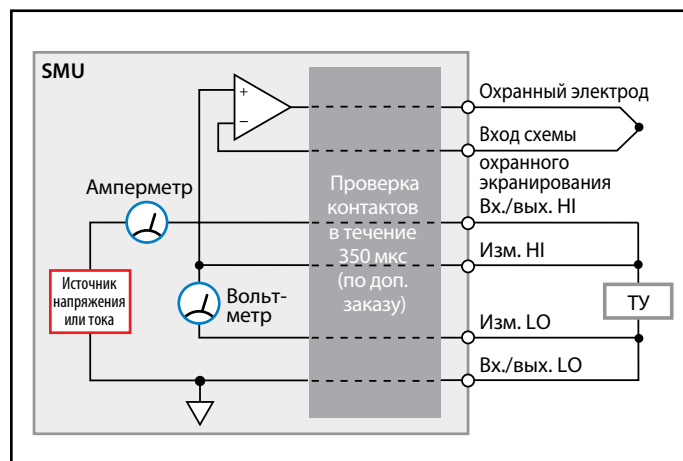


Рис. 12. Проверка качества контактов в источниках-измерителях серии 2400

Обозначения:
 Вх./вых. HI, LO – выходы источника тока и напряжения
 Изм. HI, LO – входы вольтметра
 ТУ – тестируемое устройство

Сравнительная таблица

МОДЕЛЬ	Настольные источники-измерители с выходной мощностью 20–100 Вт					Источники-измерители серии 2600B с выходной мощностью 20–100 Вт
	2400, 2401, 2400-C 2400-LV	2410, 2410-C	2420, 2420-C	2425, 2425-C	2440, 2440-C	2601B, 2602B
Страница	23	23	23	23	23	20
ВЫХОДНАЯ МОЩНОСТЬ	22 Вт	22 Вт	66 Вт	110 Вт	55 Вт	40,4 Вт/канал
ВЫХОДНОЙ ТОК						
Мин. (значение по умолчанию)	±10 пА	±10 пА	±100 пА	±100 пА	±100 пА	±1 пА
Макс.	±1,05 А	±1,05 А	±3,15 А	±3,15 А	±5,25 А	±3,03 А пост. и в импульсе/±10 А в импульсе на канал
ВЫХОДНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ						
Мин. (значение по умолчанию)	±1 мкВ	±1 мкВ	±1 мкВ	±1 мкВ	±1 мкВ	±1 мкВ
Макс.	±21/±210 В ²	±1100 В	±63 В	±105 В	±42 В	± 40,4 В/канал
ДИАПАЗОН СОПРОТИВЛЕНИЙ	от < 0,2 Ом до > 200 МОм	от < 0,2 Ом до > 200 МОм	от < 0,2 Ом до > 200 МОм	от < 0,2 Ом до > 200 МОм	от < 2,0 Ом до > 200 МОм	
ОСНОВНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ						
По току	0,035%	0,035%	0,035%	0,035%	0,035%	0,02%
По напряжению	0,015%	0,015%	0,015%	0,015%	0,015%	0,015%
По сопротивлению	0,06%	0,07%	0,06%	0,06%	0,06%	
КРАТКИЙ ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ ФУНКЦИЙ						
Импульсный режим	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Да
Линейная/логарифмическая/пользовательская развертка	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Встроенная исполняемая программа	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Возможность встроенного программирования скриптами	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Да
Проверка контактов	Дополнительно	Дополнительно	Дополнительно	Дополнительно	Дополнительно	Да
Выбираемые входы на передней и задней панелях	Да	Да	Да	Да	Да	Только на задней
Разъемы	Типа «банан»	Типа «банан»	Типа «банан»	Типа «банан»	Типа «банан»	Винтовые клеммы, переходники для разъемов «банан» и (или) триаксиальный
Проверка пределов	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Возможность переключения выходного импеданса	Да	Да	Да	Да	Да	Да
4-проводная схема подключения	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Внутренняя обратная связь в источниках тока и напряжения	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Система команд	SCPI	SCPI	SCPI	SCPI	SCPI	ICL
Программирование	IEEE-488, RS-232	IEEE-488, RS-232	IEEE-488, RS-232	IEEE-488, RS-232	IEEE-488, RS-232	Ethernet/LXI, IEEE-488, RS-232 со встроенной технологией TSP (процессор сценариев тестирования)
Память/буфер	5000 точек, буфер чтения 2500 точек	5000 точек, буфер чтения 2500 точек	5000 точек, буфер чтения 2500 точек	5000 точек, буфер чтения 2500 точек	5000 точек, буфер чтения 2500 точек	> 100 000 точек
Запуск	Trigger Link с 6 входами и выходами	Trigger Link с 6 входами и выходами	Trigger Link с 6 входами и выходами	Trigger Link с 6 входами и выходами	Trigger Link с 6 входами и выходами	14 цифровых триггерных входных и выходных линий, 3 триггерных линии TSP-Link
Охранный электрод	Сопротивление (при высоком токе) и кабель ³	Сопротивление (при высоком токе) и кабель	Сопротивление (при высоком токе) и кабель	Сопротивление (при высоком токе) и кабель	Сопротивление (при высоком токе) и кабель	Кабель
Цифровые входы и выходы	1 вход/4 выхода со встроенным интерфейсом для манипулятора компонентов (кроме модели 2401)	1 вход/4 выхода со встроенным интерфейсом для манипулятора компонентов	1 вход/4 выхода со встроенным интерфейсом для манипулятора компонентов	1 вход/4 выхода со встроенным интерфейсом для манипулятора компонентов	1 вход/4 выхода со встроенным интерфейсом для манипулятора компонентов	14 цифровых триггерных входных и выходных линий
Прочее	Разрешение 6,5 разрядов. Интерфейс Handler. Тестирование на совместимость длительностью 500 мкс. Проверка контактов по доп. заказу (кроме модели 2401)	Разрешение 6,5 разрядов. Интерфейс Handler. Тестирование на совместимость длительностью 500 мкс. Проверка контактов по доп. заказу	Разрешение 6, разрядов. Интерфейс Handler. Тестирование на совместимость длительностью 500 мкс. Проверка контактов по доп. заказу	Разрешение 6,5 разрядов. Интерфейс Handler. Тестирование на совместимость длительностью 500 мкс. Проверка контактов по доп. заказу	Разрешение 6,5 разрядов. Интерфейс Handler. Тестирование на совместимость длительностью 500 мкс. Проверка контактов по доп. заказу	Разрешение 6,5 разрядов. Возможность масштабирования до более чем 64 каналов с помощью технологии TSP-Link®. Встроенное программное обеспечение на основе веб-интерфейса для определения параметров
Соответствие стандартам	CE, UL	CE	CE	CE	CE	CE, UL

1. В импульсном режиме.

2. Для моделей 2401 и 2400-LV макс. 21 В.

3. Для измерения сопротивления при большом зондирующем токе и для внутреннего экрана триаксиального кабеля

КОМПЛЕКСЫ НА ОСНОВЕ ИСТОЧНИКОВ-ИЗМЕРИТЕЛЕЙ 20-1	Источники-измерители серии 2600B с выходной мощностью >200 Вт		Слаботочные источники-измерители мощностью 20 Вт		
	2611B, 2612B	2430-C 2651B	2635B, 2636B	6430	237
	8	8	8	8	8
30,3 Вт /канал	1100 Вт ¹	2000 Вт в импульсе/20 Вт пост. тока	30,3 Вт/канал	2 Вт	11 Вт
±1 пА	±100 пА	±1 пА	± фА	±10 аА	±100 фА
±1,5 А пост. и в импульсе/10 А в импульсе на канал	±10,5 А	±50 А (±100 А для двух модулей, включенных параллельно)	±1,5 А пост. и в импульсе/10 А в импульсе на канал	±105 мА	±100 мА
±1 мкВ	±1 мкВ	±1 мкВ	± 1 мкВ	±1 мкВ	±100 мкВ
±202 В	±105 В	±40 В (±80 В для двух модулей, включенных последовательно)	±202 В	±210 В	±1100 В
	от < 2,0 Ом до > 200 МОм		от < 2,0 Ом до > 200 МОм		
0,02%	0,035%	±0,02%	0,02%	0,035%	0,05%
0,015%	0,015%	±0,015%	0,015%	0,012%	0,03%
	0,06%		0,063%		
Да	Да	Да	Да	Нет	Да
Да	Да	Да	Да	Да	Да линейная/логарифмическая/импульсная/ступенчатая/пользовательская)
Да	Да	Да	Да	Да	Нет
Да	Нет	Да	Да	Нет	Нет
Да	Дополнительно	Да	Да	Нет	Нет
Только на задней	Да	Только на задней	Только на задней	На задней и на предусилителе	Только на задней
Винтовые клеммы, переходники для разъемов «банан» и (или) Triax	Типа «банан»	Винтовые клеммы, переходники для разъемов «банан» и (или) Triax	Винтовые клеммы, переходники для разъемов «банан»	Triax	Triax
Да	Да	Да	Да	Да	Нет
Да	Да	Да	Да	Да	
Да	Да	Да	Да	Да	Да
Да	Да	Да	Да	Да	Нет
ICL	SCPI	ICL	ICL	SCPI	DDC
Ethernet/LXI, IEEE-488, RS-232 со встроенной технологией TSP (процессор сценариев тестирования)	IEEE-488, RS-232	Ethernet/LXI, IEEE-488, RS-232 со встроенной технологией TSP (процессор сценариев тестирования)	Ethernet/LXI, IEEE-488, RS-232 со встроенной технологией TSP (процессор сценариев тестирования)	IEEE-488, RS-232	IEEE 488
> 100 000 отсчетов в буфере	5000 точек, буфер чтения 2500 точек	> 100 000 отсчетов в буфере	> 100 000 отсчетов в буфере	5000 точек, буфер чтения 2500 точек	1000 точек
14 входных и выходных триггерных линий, 3 триггерные линии TSP-Link	6 входных и выходных триггерных линий	14 входных и выходных триггерных линий, 3 триггерные линии TSP-Link	14 входных и выходных триггерных линий, 3 триггерные линии TSP-Link	6 входных и выходных триггерных линий	Вход/выход
Кабель	Сопротивление (при высоком токе) и кабель	Кабель	Кабель	Сопротивление (при высоком токе) и кабель	Кабель
14 цифровых и триггерных двуправленных линий	1 входная и 4 выходных линии со встроенным интерфейсом с манипулятором компонентов (кроме модели 2401)	14 цифровых и триггерных двуправленных линий	14 цифровых и триггерных двуправленных линий	1 входная и 4 выходных линии со встроенным интерфейсом с манипулятором компонентов	Нет
разрешение 6,5 разрядов. Возможность расширения до более чем 64 каналов ea основе технологии TSP-Link®. Встроенное программное обеспечение на основе веб-интерфейса для измерения характеристик устройств	Разрешение 6,5 разрядов. Интерфейс с манипулятором компонентов. Время отбраковки компонентов 500 мкс. Автоматическое определение качества контактов по доп. заказу	Разрешение 6,5 разрядов. Скважность от 1 до 100. Время измерения до 1 мкс на точку	разрешение 6,5 разрядов. Возможность расширения до более чем 64 каналов ea основе технологии TSP-Link®. Встроенное программное обеспечение на основе веб-интерфейса для измерения характеристик устройств	Разрешение 6,5 разрядов. Интерфейс с манипулятором компонентов. Время отбраковки компонентов 500 мкс.	
CE, UL	CE	CE, UL	CE, UL	CE	CE



- Содержат в себе: программируемый источник напряжения, программируемый прецизионный источник тока, цифровой мультиметр, генератор сигналов произвольной формы, импульсный генератор напряжения и тока с функцией измерения, электронную нагрузку и контроллер запуска.
- Изделия указанной серии покрывают широкий динамический диапазон: от 1 фА до 50 А и от 1 мкВ до 200 В.
- скорость до 20 000 измерений в секунду позволяет сократить время тестирования и регистрировать переходные процессы в устройствах.

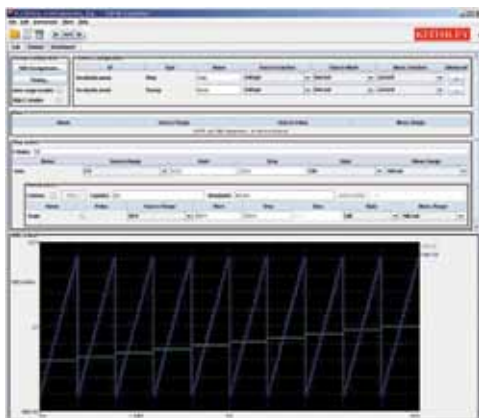
Программное обеспечение

- TSP® Express обеспечивает быстрое и удобное измерение тока и напряжения (встроенное ПО);
- ACS Basic Edition для измерения характеристик полупроводниковых компонентов (по дополнительному заказу).

Самые высокие в отрасли скорость тестирования и плотность размещения аппаратуры в стойке с возможностью быстрого увеличения числа измерительных каналов

Многоканальные комплексы для измерения тока и напряжения на основе источников-измерителей серии 2600B

Источники-измерители серии 2600B – это новейшие источники-измерители компании Keithley, которые могут применяться как в настольном исполнении, так и в качестве модулей для построения многоканальных систем. Реализованная в изделиях серии 2600B архитектура на основе встроенного процессора сценариев тестирования (TSP) в сочетании с возможностями проведения параллельного тестирования и точной синхронизации обеспечивают самую высокую в отрасли производительность и низкую стоимость тестирования. При настольном применении в источниках-измерителях серии 2600B устанавливается встроенное программное обеспечение TSP Express или дополнительно приобретаемые программные средства для измерения характеристик компонентов ACS Basic.



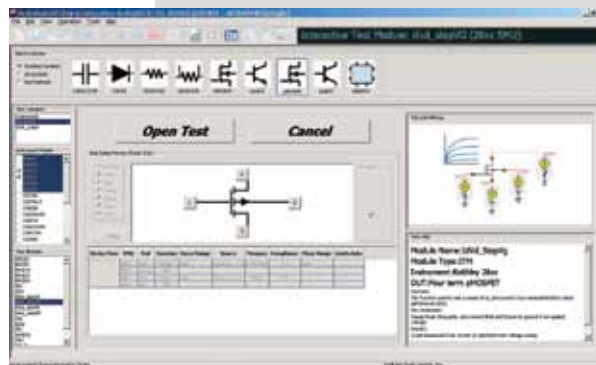
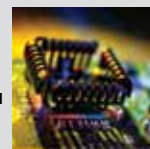
Программное обеспечение TSP Express позволяет быстро настраивать и выполнять основные и расширенные тесты для измерения характеристик устройств, в том числе: вложенные измерения в пошаговом режиме и в режиме развертки, с разверткой в импульсном режиме и задаваемой пользователем.

При необходимости быстрого сбора данных о корпусном тестируемом устройстве интерфейс дополнительно устанавливаемого программного обеспечения ACS Basic Edition с помощью мастера настройки позволяет легко найти и выполнить требуемый тест, например, показанный на рисунке типовой для полевого транзистора.

Типовые сферы применения

Функциональное тестирование, связанное с измерением тока и напряжения и снятием характеристик для широкого спектра устройств, в том числе:

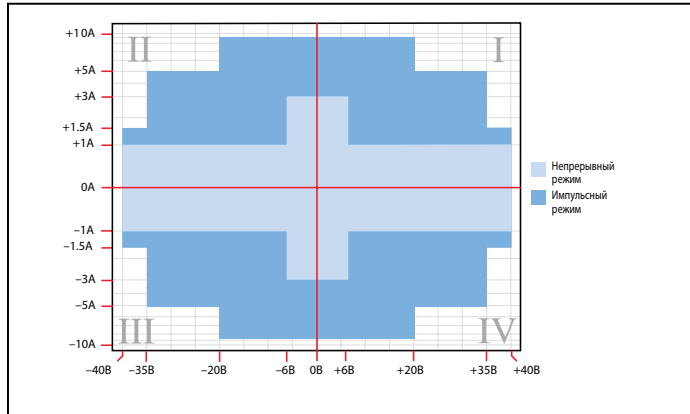
- дискретных и пассивных компонентов;
- интегральных устройств, включая компоненты с низкой (SSI) и высокой (LSI) степенями интеграции;
- оптоэлектронных приборов, таких как светодиоды, лазерные диоды, сверхяркие светодиоды (HBLED), полупроводниковые лазеры с вертикальным резонатором и поверхностным излучением (VCSEL), дисплеи;
- испытания на надежность на уровне кристалла, например, тест температурной нестабильности отрицательного смещения (NBTI), зависимость от времени пробоя диэлектрика (TDDV), инъекции горячих носителей (HCI) и изучение электромиграции.



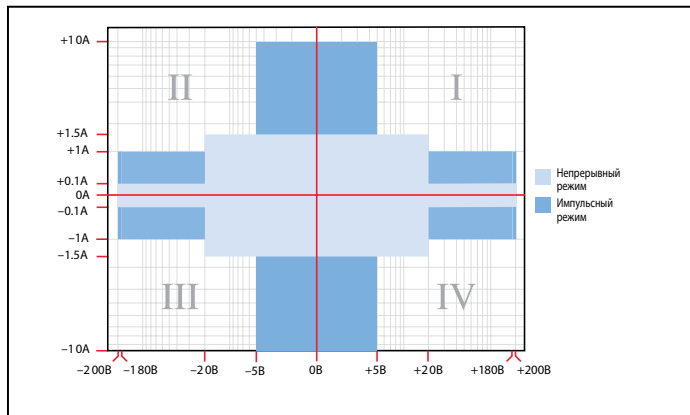
Краткие технические характеристики источников-измерителей серии 2600В

Поставляемые вместе с прибором принадлежности:

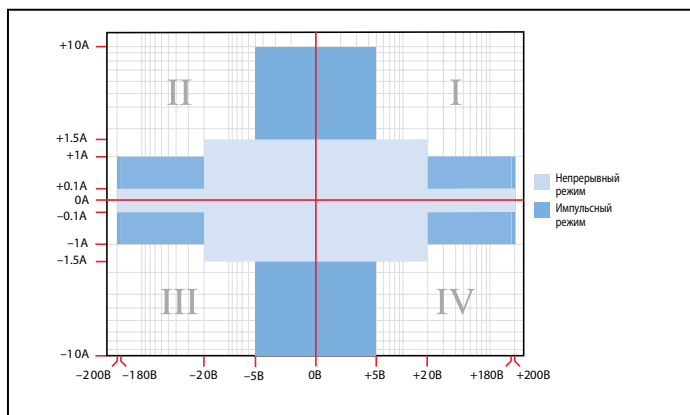
2600-ALC-2: малошумящий триаксиальный кабель (Triax) длиной 2 м (6,6 футов) с зажимами типа «крокодил» (с моделью 2636В поставляется два, с моделью 2635В – один такой кабель);
 2600-KIT: кабельный переходник с винтовыми клеммами, с фиксацией кабеля и крышкой (для моделей 2601В/2602В/2611В/2612В);
 CA-180-3A: кабель TSP-Link/Ethernet (по два для каждого источника-измерителя);
 программное обеспечение TSP Express (встроенное);
 программное обеспечение для создания сценариев тестирования Test Script Builder (поставляется на CD);
 программное обеспечение ACS Basic Edition (по дополнительному заказу).



Нагрузочная способность по напряжению и току моделей 2601В и 2602В



Нагрузочная способность по напряжению и току моделей 2611В и 2612В



Нагрузочная способность по напряжению и току моделей 2635В и 2636В

Модели 2635В и 2636В

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКА НАПРЯЖЕНИЯ

ПОГРЕШНОСТЬ УСТАНОВКИ НАПРЯЖЕНИЯ¹

Диапазон	Разрешение программирования	Точность (в течение 1 года) 23 °C ± 5 °C ±(% от показаний + напряжение в вольтах)	Типовое значение шума (амплитуда) 0,1–10 Гц
200,000 мВ	5 мкВ	0,02% + 375 мкВ	20 мкВ
2,00000 В	50 мкВ	0,02% + 600 мкВ	50 мкВ
20,0000 В	500 мкВ	0,02% + 5 мВ	300 мкВ
200,000 В	5 мВ	0,02% + 50 мВ	2 мВ

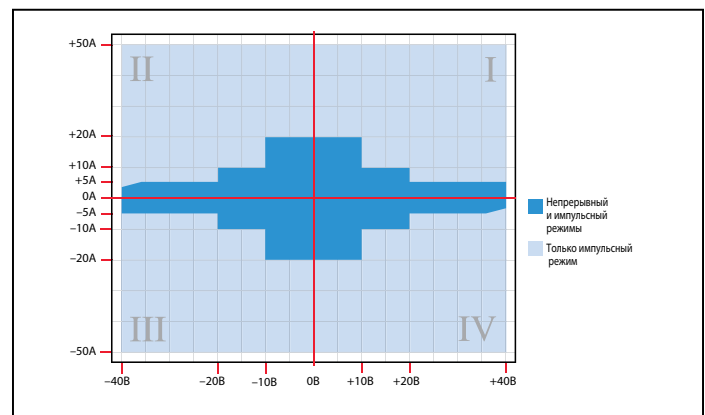
ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКА ТОКА

ПОГРЕШНОСТЬ УСТАНОВКИ ТОКА

Диапазон	Разрешение программирования	Точность (в течение 1 года) 23 °C ± 5 °C ±(% показаний + ток в амперах)	Типовое значение шума (амплитуда) 0,1–10 Гц
1,00000 нА	20 фА	0,15% + 2 пА	800 фА
10,0000 нА	200 фА	0,15% + 5 пА	2 пА
100,000 нА	2 пА	0,06% + 50 пА	5 пА
1,00000 мкА	20 пА	0,03% + 700 пА	25 пА
10,0000 мкА	200 пА	0,03% + 5 нА	60 пА
100,000 мкА	2 нА	0,03% + 60 нА	3 нА
1,00000 мА	20 нА	0,03% + 300 нА	6 нА
10,0000 мА	200 нА	0,03% + 6 мкА	200 нА
100,000 мА	2 мкА	0,03% + 30 мкА	600 нА
1,00000 А ⁵	20 мкА	0,05% + 1,8 мА	70 мкА
1,50000 А ^{5,6}	50 мкА	0,06% + 4 мА	150 мкА
10,0000 А ^{5,6}	200 мкА	0,5% + 4 мА (тип.)	

ПРИМЕЧАНИЯ

1. К указанной погрешности источника следует добавить падение напряжения на проводнике с высоким потенциалом (НП), составляющее 50 мкВ на вольт.
2. Погрешность для режима нагрузки с высокой емкостью справедлива только при температуре 23 °C ± 5 °C.
3. Работа в режиме источника питания с полной мощностью, не зависящей от нагрузки, обеспечивается при температуре окружающей среды не более 30 °C. Дополнительная информация о снижении мощности при температуре свыше 30 °C (или) в режиме электронной нагрузки приведена в разделе «Эксплуатационные пределы» справочного руководства Reference Manual для источников-измерителей серии 2600В.
4. Для работы в режиме электронной нагрузки (квадранты II и IV) к соответствующему пределу погрешности по току следует добавить 0,06% от верхнего предела диапазона. Технические характеристики применимы для режима электронной нагрузки.
5. Работа в режиме источника питания с полной мощностью, не зависящей от нагрузки, обеспечивается при температуре окружающей среды не более 30 °C. Дополнительная информация о снижении мощности при температуре свыше 30 °C (или) в режиме электронной нагрузки приведена в разделе «Эксплуатационные пределы» справочного руководства Reference Manual для источников-измерителей серии 2600В.
6. Работа в диапазоне 10 А возможна только в импульсном режиме.



Нагрузочная способность по напряжению и току модели 2651В



- Источники-измерители серии 2400 обладают широким динамическим диапазоном от 10 пА до 10 А, от 1 мкВ до 1100 В, от 20 Вт до 1000 Вт.
- Работа в четырех квадрантах диаграммы ток-напряжение.
- Основная погрешность 0,012%, разрешение 5,5 разрядов.
- Измерение сопротивлений по четырех- и шестипроводной схеме подключения с программируемыми током и напряжением на зажимах измеряемого устройства.
- 1700 измерений в секунду с разрешением 4,5 разрядов и передачей данных через интерфейс GPIB.
- Встроенный компаратор обеспечивает быстрое тестирование на соответствие.
- В большинстве моделей предусмотрена дополнительная функция автоматической проверки качества контактов.
- Цифровые линии ввода-вывода позволяют проводить быструю сортировку компонентов и подключение к манипуляторам (кроме модели 2401).
- Интерфейсы GPIB, RS-232, триггерные линии.

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

измерительные кабели;
программный драйвер LabVIEW (загружаемый с сайта);
программное обеспечение LabTracer (загружаемое с сайта).

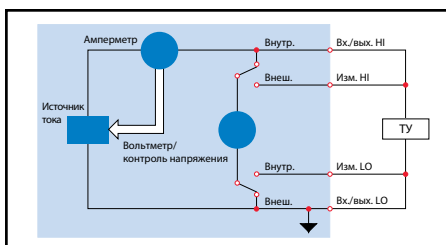
Широчайший динамический диапазон по току и напряжению для задач высокоскоростного автоматизированного промышленного тестирования и для лабораторного применения

Источники-измерители серии 2400

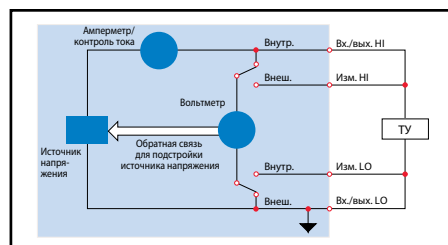
Серия 2400 источников-измерителей специально предназначена для задач тестирования, требующих точного взаимодействия источников и измерителей тока и напряжения. Каждая модель данной серии содержит прецизионные высокостабильные малошумящие источники постоянного тока и напряжения с обратной связью и малошумящий мультиметр разрешением 5,5 разрядов с большим входным сопротивлением, обеспечивающий высокую повторяемость результатов. Источник-измеритель представляет собой компактный одноканальный параметрический тестер по постоянному току. Источники-измерители могут использоваться в качестве источника напряжения, тока, вольтметра, амперметра и омметра. Они обладают целым рядом преимуществ по сравнению с системами, состоящими из отдельных источников и измерительных приборов. Например, благодаря своему компактному размеру всего в половину высоты стойки они позволяют сэкономить ценное место в измерительной стойке или на столе. Кроме того, эти приборы до минимума сокращают время, требующееся для проектирования, сборки, настройки и обслуживания измерительного комплекса, что снижает общую стоимость владения измерительным комплексом. Помимо этого источники-измерители серии 2400 упрощают процедуру измерений, устраняя много сложных проблем синхронизации и подключения, возникающих при использовании нескольких приборов. Все приборы серии 2400 подходят для выполнения широкого спектра измерений в непрерывном режиме, в том числе для измерения сопротивления при заданном токе, напряжения пробоя, тока утечки, сопротивления изоляции и других электрических характеристик.

Измерение тока и напряжения

Все приборы SourceMeter серии 2400 обеспечивают работу в четырех квадрантах диаграммы ток-напряжение. В первом и третьем квадрантах они работают как источники, отдавая мощность в нагрузку. Во втором и четвертом квадрантах они работают как электронная нагрузка, рассеивая внутри себя мощность внешних источников. Напряжение, ток и сопротивление можно измерять как в режиме источника, так и в режиме электронной нагрузки.

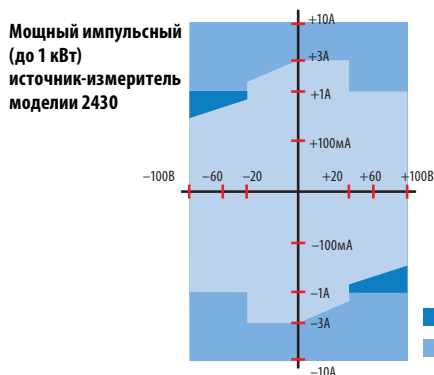
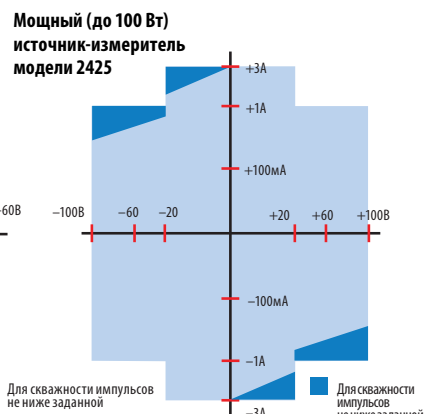
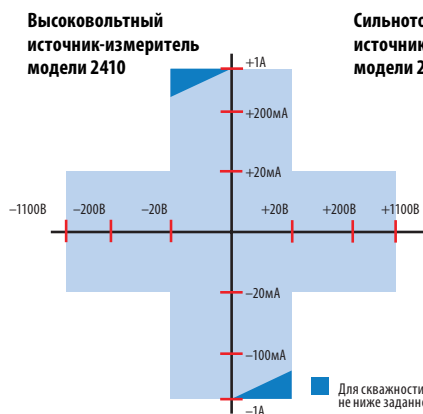
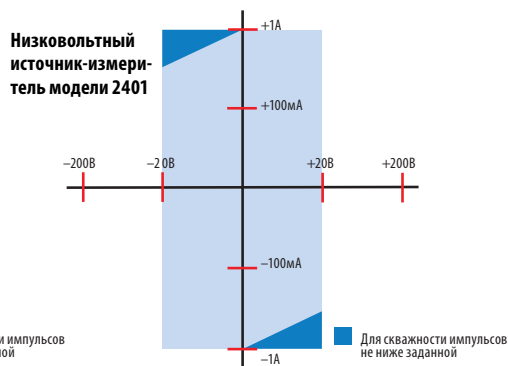
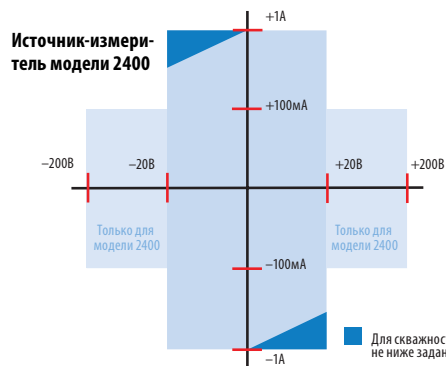


Конфигурация источника тока с измерением напряжения, тока или сопротивления



Конфигурация источника напряжения с измерением тока, напряжения или сопротивления

Источники-измерители серии 2400



Краткие технические характеристики источников-измерителей серии 2400

Погрешность источника напряжения и вольтметра (в режиме измерения напряжения на нагрузке и контроля напряжения в цепи зондирующего тока)

Модель	Диапазон	Программное разрешение	Погрешность источника (в течение 1 года) 23 °C ± 5 °C ±(% от показаний + вольт)	Разрешение измерительной системы, принятая по умолчанию	Погрешность измерения (в течение 1 года) 23 °C ± 5 °C ±(% от показаний + вольт)	Скорость нарастания выходного напряжения (±30%)	Предельные значения в режимах источника и электронной нагрузки
2400, 2400-C, 2401	200,000 мВ	5 мкВ	0,02% + 600 мкВ	1 мкВ	0,012% + 300 мкВ		± 21 В при токе ±1,05 А ± 210 В при токе ±105 мА*
	2,00000 В	50 мкВ	0,02% + 600 мкВ	10 мкВ	0,012% + 300 мкВ		
	20,0000 В	500 мкВ	0,02% + 2,4 мВ	100 мкВ	0,015% + 1,5 мВ	0,08 В/мкс	
	200,000 В*	5 мВ	0,02% + 24 мВ	1 мВ	0,015% + 10 мВ	0,5 В/мкс	

* Кроме модели 2401.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ (0–18 °C и 28–50 °C): ±(0,15 х основная погрешность)/°C.

РЕГУЛИРОВКА НАПЯЖЕНИЯ: на выходных зажимах – 0,01% от диапазона. На нагрузке – 0,01% от диапазона + 100 мкВ.

ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕНАПЯЖЕНИЯ: пользовательские значения, допуск 5%. Значение, устанавливаемое по умолчанию отключено.

ОГРАНИЧЕНИЕ ТОКА: ограничение тока в обоих направлениях (при контроле тока) задается одним значением. Мин. значение – 0,1% от диапазона.

АМПЛИТУДА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА: бросок не более 0,1% (типичное значение при перепаде на всю шкалу источника, активная нагрузка, диапазон 10 мА).

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ (ДЛЯ ВСЕХ МОДЕЛЕЙ СЕРИИ 2400)

ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ: для возврата выходных параметров к номинальным значениям после ступенчатого изменения нагрузки требуется не менее 30 мкс.

ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОМАНДЫ: максимальное время до начала изменения выходных параметров после получения команды SOURCE:VOLTage|CURRent <nrf> при автоматическом выборе диапазона 10 мс, при отключенном автоматическом выборе диапазона 7 мс.

ВРЕМЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА: время после обработки команды, необходимое для того, чтобы выходной сигнал достиг значения, отличающегося от конечного не более чем на 0,1%. Типовое значение 100 мкс (для активной нагрузки и диапазонаток от 10 мкА до 100 мА).

СМЕЩЕНИЕ АНАЛОГОВОЙ ЗЕМЛИ ОТНОСИТЕЛЬНО ПОТЕНЦИАЛА КОРПУСА: до ±250 В (±40 В для модели 2440).

ПАДЕНИЕ НАПЯЖЕНИЯ НА ЛИНИЯХ ВОЛЬТМЕТРА (SENSE): не более 1 В на каждой линии

ПОГРЕШНОСТЬ КОНТРОЛЯ НАПЯЖЕНИЯ И ТОКА: к значению основной погрешности следует добавить 0,3% от диапазона и ±0,02% от показаний.

ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕГРЕВА: в случае перегрева, обнаруживаемого внутренним датчиком, источник-измеритель переходит в режим ожидания.

БРОСОК ПРИ СМЕНЕ ДИАПАЗОНА: тип. 100 мВ (для соседних диапазонов, при полностью активной нагрузке 100 кОм, в полосе частот от 10 Гц до 1 МГц), кроме диапазонов 20 В/200 В (20 В/60 В для модели 2420) и 20 В/100 В для моделей 2425 и 2430, граничного диапазона и модели 2440.

МИНИМАЛЬНОЕ ИЗМЕРЯЕМОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПРИ КОНТРОЛЕ ТОКА И НАПЯЖЕНИЯ: 0,1% от диапазона.

Погрешность по току источника тока и амперметра (в режиме измерения тока нагрузки и контроля тока в цепи источника напряжения)

Модель	Диапазон	Программное разрешение	Погрешность источника (в течение 1 года) 23 °C ± 5 °C ± (% показаний + ампер)	Разрешение при измерении (по умолчанию)	Погрешность измерения (в течение 1 года) 23 °C ± 5 °C ± (% показаний + ампер)	Предельные значения в режимах источника и электронной нагрузки
2400, 2400-C, 2401	1,00000 мкА	50 нА	0,035% + 600 пА	10 пА	0,029% + 300 пА	±1,05 А при ±21 В ±105 мА при ±210 В
	10,0000 мкА	500 нА	0,033% + 2 нА	100 пА	0,027% + 700 пА	
	100,000 мкА	5 нА	0,031% + 20 нА	1 нА	0,025% + 6 нА	
	1,00000 mA	50 нА	0,034% + 200 нА	10 нА	0,027% + 60 нА	
	10,0000 mA	500 нА	0,045% + 2 мкА	100 нА	0,035% + 600 нА	
	100,000 mA	5 мкА	0,066% + 20 мкА	1 мкА	0,055% + 6 мкА	
	1,00000 A	50 мкА	0,27% + 900 мкА	10 мкА	0,22% + 570 мкА	

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ (0–18 °C и 28–50 °C): ±(0,15 х номинальная погрешность)/°C

РЕГУЛИРОВКА ТОКА: в цепи зондирующего тока – 0,01% от диапазона. В нагрузке – 0,01% от диапазона (для диапазона 5 А модели 2440 – 0,05%) + 100 пА.

ОГРАНИЧЕНИЕ НАПЯЖЕНИЯ: пороговое значение для обеих полярностей задается одним значением. Мин. значение 0,1% от диапазона.

АМПЛИТУДА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА: бросок не более < 0,1%, типичное значение при шаге 1 мА, сопротивлении нагрузки 10 кОм, диапазоне 20 В для моделей 2400, 2401, 2410, 2420, 2425, 2430 (10 В для модели 2440).

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ ПРОВЕРКИ КАЧЕСТВА КОНТАКТОВ (ТОЛЬКО ДЛЯ МОДЕЛЕЙ С ЛИТЕРОЙ «С»)

Кроме модели 2401

СКОРОСТЬ: время проверки и уведомления 350 мкс

ПРОВЕРКА КОНТАКТОВ:	2 Ом	15 Ом	50 Ом
Есть контакт	< 1,00 Ом	< 13,5 Ом	< 47,5 Ом
Нет контакта	> 3,00 Ом	> 16,5 Ом	> 52,5 Ом

Погрешность измерения сопротивления для четырехпроводной и двухпроводной схемы (без учета влияния сопротивления проводов)

Диапазон	Разрешение по умолчанию	Измерительный ток по умолчанию 2400, 2401, 2410	Погрешность в обычном режиме (23 °C ± 5 °C) 1 год, ±(% показаний + ом) 2400, 2401	Погрешность в режиме повышенной точности (23 °C ± 5 °C) 1 год, ±(% показаний + ом) 2400, 2401
< 0,20000 Ом	—	—	(погрешность источника тока) + (погрешность вольтметра)	(погрешность источника тока) + (погрешность вольтметра)
2,00000 Ом	10 мкОм	—	(погрешность источника тока) + (погрешность вольтметра)	(погрешность источника тока) + (погрешность вольтметра)
20,0000 Ом	100 мкОм	100 мА	0,10% + 0,003 Ом	0,07% + 0,001 Ом
200,000 Ом	1 мОм	10 мА	0,08% + 0,03 Ом	0,05% + 0,01 Ом
2,00000 кОм	10 мОм	1 мА	0,07% + 0,3 Ом	0,05% + 0,1 Ом
20,0000 кОм	100 мОм	100 мкА	0,06% + 3 Ом	0,04% + 1 Ом
200,000 кОм	1 Ом	10 мкА	0,07% + 30 Ом	0,05% + 10 Ом
2,00000 МОм	10 Ом	1 мкА	0,11% + 300 Ом	0,05% + 100 Ом
20,0000 МОм	100 Ом	1 мкА	0,11% + 1 кОм	0,05% + 500 Ом
200,000 МОм	1 кОм	100 нА	0,66% + 10 кОм	0,35% + 5 кОм
> 200,000 МОм	—	—	(погрешность источника тока) + (погрешность вольтметра)	(погрешность источника тока) + (погрешность вольтметра)

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ (0–18 °C и 28–50 °C): ± 0,15 х основная погрешность)/°C.

РЕЖИМ ИСТОЧНИКА ТОКА И ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ В РУЧНОМ РЕЖИМЕ: общая погрешность = погрешность источника тока + погрешность измерения напряжения (четырёхпроводная схема подключения).

РЕЖИМ ИСТОЧНИКА НАПЯЖЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ В РУЧНОМ РЕЖИМЕ: общая погрешность = погрешность источника напряжения + погрешность измерения тока (четырёхпроводная схема подключения).

ШЕСТИПРОВОДНАЯ СХЕМА ПОДКЛЮЧЕНИЯ: измерения сопротивлений могут выполняться с использованием активной компенсации токов утечки при помощи эквипотенциального охранного электрода (Guard) и охранного измерительного электрода (Guard Sense). Макс. выходной ток активной компенсации охранного электрода – 50 мА (кроме диапазона 1 А). Погрешность зависит от нагрузки. Формулу для расчета см. в техническом документе № 2033.

ВЫХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ОХРАННОГО ЭЛЕКТРОДА (Guard): < 0,1 Ом в режиме измерения сопротивлений.

Краткие технические характеристики источников-измерителей серии 2400 (продолжение)

Быстродействие

РЕЖИМ ИЗМЕРЕНИЯ¹

МАКСИМАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ДИАПАЗОНОВ: 75/сек.

МАКСИМАЛЬНОЕ ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ В РЕЖИМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫБОРА ДИАПАЗОНА: 40 мс (при постоянных параметрах источника)².

Скорость измерений (отсчетов в секунду) в режиме развертки³ для частоты 60 Гц (50 Гц).

Скорость	NPLC*/тип сигнала запуска	Режим измерения		Режим источника-измерителя (установка напряжения или тока источника с измерением)		Тестирование на соответствие ^{4,5} в режиме источника-измерителя ⁵		Режим источника ⁴	
		Запись в память	Передача по GPIB	Запись в память	Передача по GPIB	Запись в память	Передача по GPIB	Запись в память	Передача по GPIB
Высокая Режим IEEE-488.1	0,01/внутренний	2081 (2030)	1754	1551 (1515)	1369	902 (900)	981	165 (162)	165
	0,01/внешний	1239 (1200)	1254	1018 (990)	1035	830 (830)	886	163 (160)	163
Высокая Режим IEEE-488.2	0,01/внутренний	2081 (2030)	1198 (1210)	1551 (1515)	1000 (900)	902 (900)	809 (840)	165 (162)	164 (162)
	0,01/внешний	1239 (1200)	1079 (1050)	1018 (990)	916 (835)	830 (830)	756 (780)	163 (160)	162 (160)
Средняя Режим IEEE-488.2	0,10/внутренний	510 (433)	509 (433)	470 (405)	470 (410)	389 (343)	388 (343)	133 (126)	132 (126)
	0,10/внешний	438 (380)	438 (380)	409 (360)	409 (365)	374 (333)	374 (333)	131 (125)	131 (125)
Стандартная Режим IEEE-488.2	1,00/внутренний	59 (49)	59 (49)	58 (48)	58 (48)	56 (47)	56 (47)	44 (38)	44 (38)
	1,00/внешний	57 (48)	57 (48)	57 (48)	57 (47)	56 (47)	56 (47)	44 (38)	44 (38)

* - NPLC – период напряжения промышленной сети (20 мс для 50 Гц). Например. Значению NPLC=0,01 соответствует время усреднения 200 мкс.

Скорость измерений (отсчетов в секунду) в режиме единичных отсчетов для частоты 60 Гц (50 Гц).

Скорость	NPLC/тип сигнала запуска	Режим измерения с передачей по GPIB	Режим источника-измерителя ⁵ с передачей по GPIB	Тестирование на соответствие ^{4,5} в режиме источника-измерителя ⁵ с передачей по GPIB
Высокая (488.1)	0,01/внутренний	537	140	135
Высокая (488.2)	0,01/внутренний	256 (256)	79 (83)	79 (83)
Средняя (488.2)	0,10/внутренний	167 (166)	72 (70)	69 (70)
Стандартная (488.2)	1,00/внутренний	49 (42)	34 (31)	35 (30)

Время измерений на частоте 60 Гц (50 Гц):^{4,6}

Скорость	NPLC/тип сигнала запуска	Режим измерения с передачей по GPIB	Тестирование на соответствие в режиме источника	Тестирование на соответствие ^{5,7} в режиме источника-измерителя с передачей по GPIB
Высокая	0,01/внешний	1,04 мс (1,08 мс)	0,5 мс (0,5 мс)	4,82 мс (5,3 мс)
Средняя	0,10/внешний	2,55 мс (2,9 мс)	0,5 мс (0,5 мс)	6,27 мс (7,1 мс)
Стандартная	1,00/внешний	17,53 мс (20,9 мс)	0,5 мс (0,5 мс)	21,31 мс (25,0 мс)

¹ Скорости снятия показаний применимы к измерениям напряжения или тока. Автоматическое обнуление выкл., автоматический выбор диапазона выкл., фильтр выкл., отображение выкл., задержка запуска = 0, двоичный формат передачи.

² Соединительные провода имеют только активное сопротивление. В диапазонах 1 мкА и 10 мкА < 65 мс.

³ Приведены параметры для развертки 1000 точек с источником, работающим в фиксированном диапазоне.

⁴ Тестирование на соответствие выполняется с использованием одного верхнего предела и одного нижнего предела.

⁵ Включая время на перепрограммирование источника на новый уровень перед проведением измерений.

⁶ Время от заднего фронта сигнала «НАЧАЛО ТЕСТИРОВАНИЯ» до заднего фронта сигнала «КОНЕЦ ТЕСТИРОВАНИЯ»

⁷ Время обработки команды SOURCE:VOLTage[CURRENT:TRIGgered <nrf> не учитывается.

ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Подавление шумов

Скорость	NPLC	NMRR	CMRR
Высокая	0,01	–	80 дБ
Средняя	0,1	–	80 дБ
Стандартная	1	60 дБ	100 дБ ¹

1. Кроме двух нижних диапазонов тока, для которых 90 дБ.

СОПРОТИВЛЕНИЕ НАГРУЗКИ: стабильность сохраняется до тип. зн. 20 000 пФ.

МАКСИМАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ СИНОФАЗНОГО СИГНАЛА: 250 В (40 в пост. для модели 2440)

СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ В РЕЖИМЕ СИНОФАЗНОГО СИГНАЛА: > 10⁹ Ом, < 1000 пФ.

ВЫХОД ЗА ПРЕДЕЛЫ ДИАПАЗОНА: 105% от диапазона для источника и измерителя.

МАКС. ПАДЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ МЕЖДУ КЛЕММАМИ ИСТОЧНИКА И ИЗМЕРИТЕЛЯ Input/Output HI – Sense HI, Input/Output LO – Sense LO: 5 В

МАКС. СОПРОТИВЛЕНИЕ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ Sense LO, Sense HI: 1 МОм для обеспечения номинальной погрешности.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ВХОДА: > 10¹⁰ Ом

НАПРЯЖЕНИЕ СМЕЩЕНИЯ ОХРАННОГО ЭЛЕКТРОДА: тип. зн. < 150 мкВ (300 мкВ для моделей 2430, 2440).

ВЫХОДНЫЕ РЕЖИМЫ ИСТОЧНИКА: импульсный (только для модели 2430), с фиксированным постоянным уровнем, последовательность постоянных уровней из внутренней памяти (комбинированная функциональность), ступенчатая развертка (линейная и логарифмическая).

БУФЕР ПАМЯТИ: 5000 пятизначных отсчетов (два буфера по 2500 точек). Включает выбранные измеренные значения и временную метку. Резервное питание от литиевой батареи (срок службы батареи не менее 3 лет).

ВНУТРЕННЯЯ ПАМЯТЬ ИСТОЧНИКА: не более 100 значений.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРОГРАММИРОВАНИЯ: IEEE-488 (SCPI-1995.0), RS-232, 5 пользовательских конфигураций, заводская конфигурация по умолчанию и сброс (команда *RST).

ЦИФРОВОЙ ИНТЕРФЕЙС

Блокировка: активный вход низкого уровня.

Интерфейс манипулятора: запуск тестирования, завершение тестирования, 3 бита категории. Питание +5 В, 300 мА.

Цифровые входы и выходы: 1 вход запуска, 4 выхода TTL или выхода управления (33 В, 500 мА, диодная фиксация уровня).

ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ: от 100 до 240 В / 50–60 Гц (автоматическое определение при включении). Модели 2400, 2401: 190 ВА. Модель 2410: 210 ВА. Модель 2420: 220 ВА. Модели 2425, 2430: 250 ВА. Модель 2440: 240 ВА.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ: в соответствии с Директивой Европейского союза 89/336/EEC, EN 61326-1.

БЕЗОПАСНОСТЬ: аттестовано UL согласно UL 61010B-1:2003. Соответствует Директиве Европейского союза по низковольтному оборудованию.

УСТОЙЧИВОСТЬ К ВИБРАЦИИ: MIL-PRF-28800F класс 3, произвольная.

ВРЕМЯ ПРОГРЕВА: в течение одного часа для обеспечения номинальных погрешностей.

РАЗМЕРЫ: (высота х ширина х глубина) 89 х 213 х 370 мм (3-1/2 х 8-3/8 х 14-9/16 дюйм). Настольная модификация (с рукояткой и ножками): (высота х ширина х глубина) 104 х 238 х 370 мм (4-1/8 х 9-3/8 х 14-9/16 дюйм).

МАССА: 3,21 кг (7,08 фунт) (модели 2425, 2430, 2440: 4,1 кг, 9,0 фунт).

УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ХРАНЕНИЯ: рабочий диапазон температур: 0–50 °С, отн. влажность 70% при 35 °С. В диапазоне температур 35–50 °С допустима отн. влажность снижается на 3% на градус.

Диапазон температур хранения: от –25 °С до +65 °С.

Тестирование полупроводниковых материалов и устройств

Компания Keithley — лидер в производстве комплексов для тестирования полупроводниковых материалов и устройств. Она предлагает высокочувствительные системы для измерения электрических характеристик и аппаратуру для проведения параметрических испытаний в полностью автоматическом режиме. Многофункциональные масштабируемые комплексы для тестирования компании Keithley разработаны с учетом новейших материалов, технологий и структур.

- 32 **Наиболее экономичные в отрасли автоматические параметрические тестеры**
Системы параметрического тестирования на основе модели S530
- 33 **Гибкая платформа для задач тестирования сегодняшнего и завтрашнего дня**
Системы тестирования на основе модели S500
- 34 **Универсальное решение для измерения вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик в непрерывном и импульсном режиме**
Система для измерения характеристик полупроводниковых материалов и устройств 4200-SCS
- 36 **Универсальная высокоэффективная программная среда для управления различными аппаратными конфигурациями**
Программный пакет ACS для автоматического измерения характеристик
- 37 **Масштабируемые решения для испытаний на надежность на уровне полупроводниковой пластины**
Дополнительная опция программного пакета ACS для испытаний на надежность на уровне пластины:—ACS-2600-RTM
- 38 **Программное обеспечение для параметрического тестирования компонентов и дискретных активных элементов**
Программное обеспечение ACS Basic Edition

Наиболее экономичные в отрасли автоматические параметрические тестеры

Системы параметрического тестирования на основе модели S530

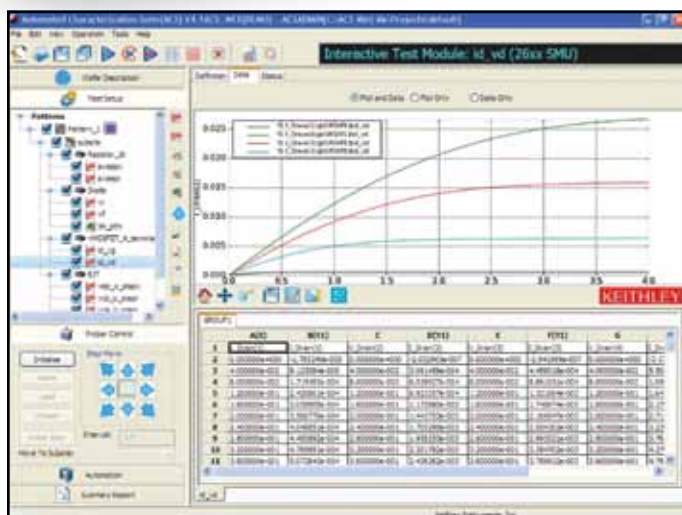


- Программная среда включает:
 - выполнение тестовых последовательностей;
 - редактор сценариев тестирования;
 - интерактивное управление зондовой станцией;
 - построение графиков в режиме реального времени;
 - анализ данных.
- Проверенные технологии и средства измерений обеспечивают высокую точность и повторяемость результатов измерений в лаборатории и на производстве
- Система кабельных выводов тестера позволяет максимально использовать возможности зондовой станции и расширяет диапазон напряжений
- Может использоваться с широко распространенными полностью автоматическими зондовыми станциями (новыми и традиционными)

Системы параметрического тестирования S530 предназначены для выполнения всех видов измерений по постоянному току и для снятия вольт-фарадных характеристик, необходимых для управления процессами, мониторинга их надежности и для измерения параметров материалов и устройств. Эти системы оптимизированы для совместного использования с разнообразными изделиями и для реализации различных технологий на производстве и в исследовательских лабораториях. Кроме того, системы S530 обеспечивают непревзойденную гибкость плана тестирования, уровень автоматизации, возможности интеграции с зондовыми станциями и управления данными.

Для решения различных задач параметрического тестирования выпускаются три стандартные конфигурации S530.

- Базовая система S530 – наиболее экономичный в отрасли полнофункциональный параметрический тестер. Он обеспечивает диапазоны источников тока и напряжения до ± 1 А и ± 200 В соответственно при номинальной чувствительности измерений и подходит для общих задач мониторинга технологических процессов.
- Слаботочный комплекс S530 построен на основе матричного коммутатора с исключительно малыми токами утечки и технологий высокочувствительных измерений и имеет разрешение в фемтоамперном диапазоне. Он идеально подходит для измерения характеристик кремниевых МОП-изделий, изготовленных по субмикронным технологиям.
- Высоковольтная система S530 обеспечивает подачу напряжений до 1000 В для проведения сложных испытаний на пробой и на утечку, которые необходимы, например, при тестировании автомобильной электроники и систем управления питанием.



Во время разработки плана тестирования программное обеспечение ACS обеспечивает интерактивное отображение данных и графиков. Для анализа результатов тестирования и проверки его функциональности нет необходимости переключаться между различными экранами или использовать другое программное обеспечение.

Гибкая платформа для задач тестирования сегодняшнего и завтрашнего дня

Системы тестирования на основе модели S500



- Измерительная система с широкими возможностями конфигурации на основе набора измерительных приборов.
- Простота настройки измерительного стенда, сбора данных и анализа с помощью программного обеспечения ACS.
- Соединительная панель TSP-Link® компании Keithley обеспечивает высокую производительность измерений.
- Полнофункциональное управление автоматическими и полуавтоматическими зондовыми станциями.
- Разработка и выполнение тестирования на уровне устройства, узла, кристалла и модуля.

Интегрированные системы тестирования S500 — это измерительные комплексы на основе набора измерительных приборов, обладающие широкими возможностями конфигурации и предназначены для измерения характеристик полупроводниковых элементов на уровне устройства, кристалла или модуля. Построенные на основе проверенных технологий и средств измерений компании Keithley, системы S500 обеспечивают функциональность и позволяют настраивать конфигурацию в соответствии с требованиями пользователя. Системы S500 реализуют три главных принципа компании: конфигурирование, интеграция и адаптация. Покупатель системы S500 получает в свое распоряжение универсальную систему тестирования для измерения характеристик полупроводниковых материалов и устройств, объединяющую в себе лучшие в отрасли технические решения Keithley и конфигурируемое программное обеспечение ACS для проведения измерений, испытаний на надежность на уровне кристалла для параметрического и функционального тестирования. Благодаря проверенной аппаратуре Keithley и удобному программному обеспечению ACS система S500 имеет непревзойденную в отрасли возможность конфигурации, интеграции и адаптации к задачам пользователей на основе уникального опыта компании.



Универсальное решение для измерения вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик в непрерывном и импульсном режиме

Система для измерения характеристик полупроводниковых материалов и устройств 4200-SCS

Система 4200-SCS представляет собой законченное универсальное решение для измерения электрических характеристик материалов, устройств и для исследования различных процессов. Этот современный параметрический анализатор позволяет пользователю легко управлять сложными процессами измерений при помощи интуитивно понятного графического интерфейса. Он имеет высокую чувствительность и точность измерений, использует встроенную операционную систему Windows® и интерактивную программную среду компании Keithley для управления самой системой и внешними приборами, а также для отображения и анализа данных в реальном масштабе времени. Все основные аппаратно-программные средства размещены в одном корпусе.

Для получения полного представления о свойствах любого устройства или материала необходимо использовать три основных метода электрических измерений, которые полностью реализуются системой 4200-SCS:

- точное измерение постоянных напряжений и токов, что является основой всего комплекса параметров;
- измерение импеданса на переменном токе, в том числе хорошо известная многочастотная методика снятия вольт-фарадных (C-V) характеристик, позволяющая получить дополнительную информацию, которую не могут обеспечить измерения на постоянном токе;
- тестирование в импульсном режиме и исследование переходных процессов, позволяющее получать результаты во временной области и изучать динамические характеристики устройств.

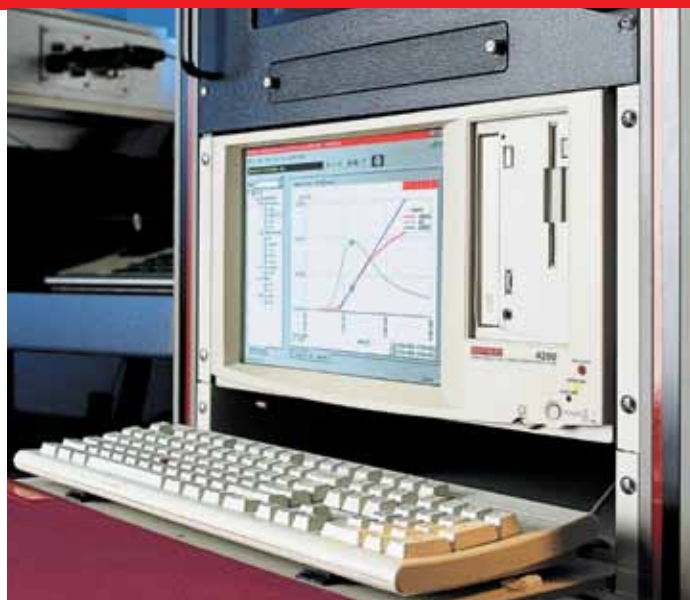
Аппаратные средства

Система 4200-SCS — это модульная настраиваемая система с возможностью изменения конфигурации, что позволяет точно удовлетворить сегодняшним требованиям к измерениям и расширить ее возможности в соответствии с нуждами завтрашнего дня. Четыре основных типа измерительных модулей можно установить в нужном количестве в девять доступных слотов расширения:

- до девяти прецизионных источников-измерителей, работающих на постоянном токе и позволяющих прикладывать напряжение, подавать ток и измерять напряжение или ток от 0,1 фА до 1 А и от 1 мкВ до 210 В;
- многочастотный модуль для снятия вольт-фарадных характеристик 4210-CVU позволяет легко измерять импеданс на переменном токе с частотой от 1 кГц до 10 МГц. Диапазон измерения емкости составляет от аттофарад до микрофарад;
- быстродействующий модуль измерения тока и напряжения 4225-PMU позволяет выполнять измерения в импульсном режиме и регистрацию переходных процессов. Этот модуль содержит также два независимых источника напряжения, которые могут изменять напряжение со скоростью до 1 В/нс, одновременно измеряя при этом напряжение и ток. При установке нескольких модулей выполняется внутренняя синхронизация с задержкой не более 3 нс;
- два различных модуля цифровых осциллографов позволяют легко регистрировать различные процессы.

Программное обеспечение

Интерактивная программная среда для тестирования KITE имеет полнофункциональный графический пользовательский интерфейс, позволяющий выполнить измерение почти всех видов характеристик, не прибегая к программированию. Предусмотрено выполнение свыше 400 стандартных тестов, в том числе для МОП-транзисторов, биполярных транзисторов, диодов, резисторов, конденсаторов, солнечных элементов, углеродных нанотрубок и модулей энергонезависимой памяти, таких как флеш-память, RRAM, PCRAM и других.



- Интуитивно понятная программная среда «укажи и выбери» на платформе Windows®.
- Модуль для измерения вольт-фарадных характеристик.
- Быстродействующий модуль измерения тока и напряжения для измерения параметров в импульсном режиме и анализа переходных процессов.
- Встроенный компьютер обеспечивает быструю настройку параметров тестирования, эффективный анализ данных, построение и распечатку графиков, а также автономное хранение больших объемов результатов тестирования.
- Уникальное программное средство «Навигатор проектов» (Project Navigator), выполненный в виде браузера, систематизирует тесты по типу устройств, открывает доступ к различным тестам, а также обеспечивает планирование тестовых последовательностей и управление циклическими измерениями.
- Встроенные функции нагрузочных тестов, управления циклами и анализа результатов испытаний на надежность с графическим интерфейсом типа принципа «укажи и выбери», включая пять тестов для образцов в соответствии с требованиями JEDEC.
- Встроенная поддержка целого ряда внешних приборов: измерителей LCR, матричных коммутаторов компании Keithley, импульсных генераторов Keithley серии 3400 и Agilent 81110.
- Программные драйверы для аналитических зондовых станций ведущих производителей.

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

справочное руководство и руководство пользователя на CD;

соединительный блокировочный кабель 236-ILC-3 длиной 3 м.

Примечание: все конфигурации системы 4200-SCS и аппаратные модули поставляются с необходимыми кабелями длиной 2 м.

Система для измерения характеристик полупроводниковых материалов и устройств 4200-SCS

Данные сохраняются в виде электронных таблиц в стандартных форматах. Все результаты измерений и расчетов могут быть представлены в программе KITE в графическом виде с помощью многофункциональных графических средств отображения и составления отчетов.

Применение

Выполнение точных измерений параметров и характеристик по постоянному току для различных изделий, таких как:

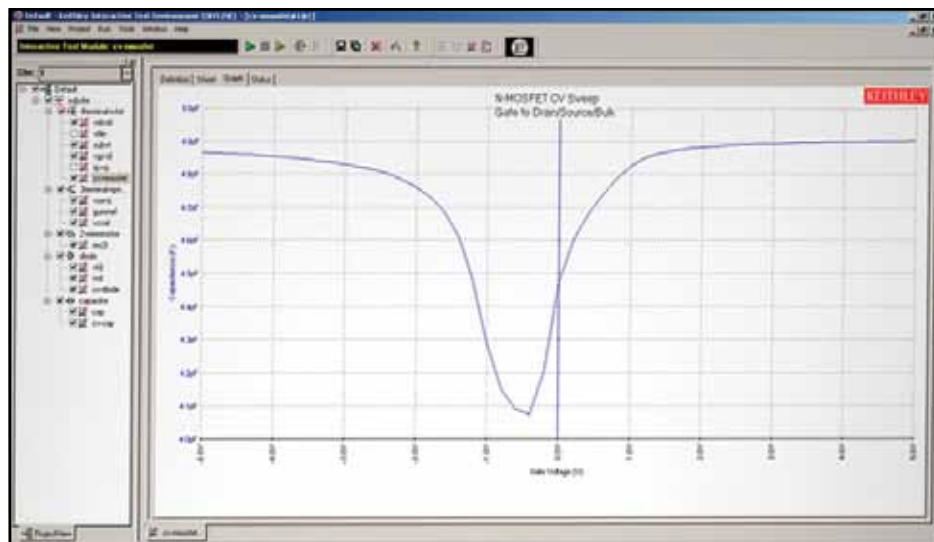
- КМОП-транзисторы и устройства;
- биполярные приборы;
- диоды и p-n переходы;
- солнечные элементы;
- нанoeлектронные устройства;
- практически все известные материалы и устройства.

Опциональный модуль для измерения вольт-фарадных характеристик 4210-CVU поставляется с самой обширной на современном рынке библиотекой для анализа и измерения емкостей и вольт-фарадных характеристик и позволяет измерять:

- вольт-фарадные характеристики, зависимости емкости от времени и частоты, а также анализировать параметры:
 - солнечных элементов, в том числе методами DLCP;
 - структур с высокой и низкой диэлектрической проницаемостью;
 - МОП-транзисторов;
 - биполярных транзисторов;
 - диодов;
 - компандных полупроводников III–V групп;
 - устройств на основе углеродных нанотрубок (CNT);
- профили распределения примесей, T_{ox} и время жизни носителей;
- емкости переходов, межвыводные и паразитные емкости.

Поставляемые в комплекте с опциональным быстродействующим модулем измерения токов и напряжений 4225-RPM программы включают в себя примеры:

- сверхбыстрых измерений токов и напряжений общего назначения;
- измерения токов и напряжений в импульсном режиме и регистрации переходных процессов;
- тестирования модулей флеш-памяти, PCRAM и других видов энергонезависимой памяти;
- изотермического тестирования силовых устройств средней мощности;
- тестирования материалов для масштабируемой КМОП-технологии, таких как диэлектрики с высокой диэлектрической проницаемостью;
- тестов на температурную нестабильность отрицательного (NBTI) и положительного (PBTI) смещения.



Вольт-фарадная характеристика полевого МОП-транзистора, измеренная с помощью модуля 4210-CVU.

Многофункциональные измерительные кабели

Компания Keithley предлагает уникальные комплекты измерительных кабелей, с помощью которого можно измерять вольт-амперные, вольт-фарадные характеристики и работать в импульсном режиме. Эти комплекты высококачественных кабелей упрощают переключение между тестовыми конфигурациями для снятия вольт-амперных характеристик по постоянному току, вольт-фарадных характеристик и тестирования в импульсных режимах, устраняя необходимость замены кабелей при переходе от одного вида измерений к другому. Эта технология, ожидающая оформления патента, также устраняет необходимость приподнимать зонды при каждой замене кабелей. Использование таких триаксиальных кабелей позволяет:

- экономить время за счет отказа от трудоемкой процедуры замены кабелей, соединяющих измерительные приборы с зондовой установкой, при переходе к другому виду измерений;
- избежать ошибок подключения кабелей, часто возникающих при замене кабелей, что, в свою очередь, исключает ошибки измерений, вызванные использованием неподходящего типа кабелей или неправильной схемы подключения;
- снизить риск повреждения пластины при изменении тестовой конфигурации за счет того, что зонды при этом остаются в контакте с пластиной; кроме того, это позволяет обеспечивать неизменность сопротивления контактов при всех видах измерений.

Дистанционные предусилители-коммутаторы

Необходимость замены и переподключения кабелей при переходе от измерения вольт-амперных характеристик по постоянному току к вольт-фарадным характеристикам и импульсным измерениям можно устранить с помощью модуля выносного предусилителя-коммутатора 4225-RPM. Все разъемы задней панели системы 4200-SCS подключаются к предусилителю-коммутатору 4225-RPM, который автоматически подключает к позиционеру нужный измерительный модуль.

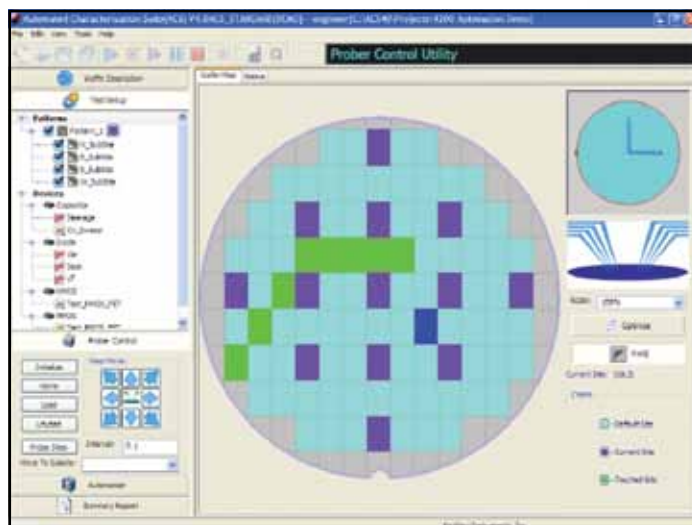
Универсальная высокоэффективная программная среда для управления различными аппаратными конфигурациями

Программный пакет ACS для автоматического измерения характеристик

Программный пакет ACS компании Keithley для автоматического измерения характеристик представляет собой универсальную интерактивную программную среду, предназначенную для измерения характеристик устройств, параметрического тестирования, испытаний на надежность и для проведения простых функциональных тестов. ACS может использовать широкий спектр аппаратуры компании Keithley — от нескольких настольных приборов, предназначенных для использования в лаборатории обеспечения качества, до полностью интегрированных и автоматизированных параметрических комплексов для тестирования, размещенных в аппаратных стойках. Кроме того, программная среда ACS стабильно функционирует на различных аппаратных конфигурациях, это значительно упрощает перенос тестирования из одного подразделения в другое и упрощает сопоставление результатов, полученных с помощью различных систем.

Программный пакет ACS обеспечивает исключительную универсальность тестирования и анализа. Удобный графический интерфейс помогает начинающим пользователям начать эффективно работать практически сразу, независимо от опыта программирования. Графический интерфейс упрощает конфигурирование и настройку измерительной аппаратуры, подготовку тестов, измерение токов и напряжений, сбор и анализ данных, поскольку для этого не требуется писать программный код или выходить из среды ACS.

- Разработка тестов и выполнение тестирования на уровне устройства, узла, пластины, набора пластин и модуля.
- Программы испытаний могут быть легко перенесены на другую измерительную аппаратуру с минимальными изменениями или вообще без изменений.
- Истинное параллельное тестирование.
- Поддержка широкого спектра приборов и зондовых установок.



Интерактивное управление зондовой измерительной установкой упрощает и ускоряет разработку и отладку тестов, позволяя сочетать интерактивное тестирование с ручным управлением зондовой установкой



Масштабируемые решения для испытаний на надежность на уровне полупроводниковой пластины

Дополнительная опция программного пакета ACS для испытаний на надежность на уровне пластины: — ACS-2600-RTM

Системы тестирования на уровне пластины позволяют выполнить прогноз срока службы от двух до пяти раз быстрее, чем традиционные решения для такого вида испытаний. Программный пакет ACS служит эффективным инструментом задания последовательностей нагрузок и измерений и имеет интерактивный интерфейс для испытания устройств на надежность (инжекция горячих носителей (HCI), температурная нестабильность при отрицательном смещении (NBTI) и др.), для определения целостности оксидного слоя затвора (зависящий от времени пробой диэлектрика (TDDb), J_{RAMP} , V_{RAMP} и др.) и контроля металлических соединений (ЕМ). Гибкость формирования тестовых последовательностей позволяет проводить предварительные и выходные испытания, а также промежуточное нагрузочное тестирование и мониторинг под нагрузкой. Встроенная программа для расчетов Formulator совместно со стандартными средствами параметрической обработки позволяет легко анализировать данные, пользуясь интерфейсом «укажи и выбери».

Архитектура системы, содержащей несколько аппаратов серии 2600, позволяет программному пакету ACS включать источники-измерители в совместную работу либо в составе большой точно координированной группы, либо в составе нескольких меньших групп, одновременно функционирующих для параллельного тестирования нескольких устройств. Встроенные процессоры и виртуальные соединения источников-измерителей серии 2600, обладающих лучшей в своем классе скоростью измерений, обеспечивают точную синхронизацию источников и измерителей, которая чрезвычайно важна для регистрации параметров быстропротекающих пробоев.

Области применения

Испытания устройств на надежность:

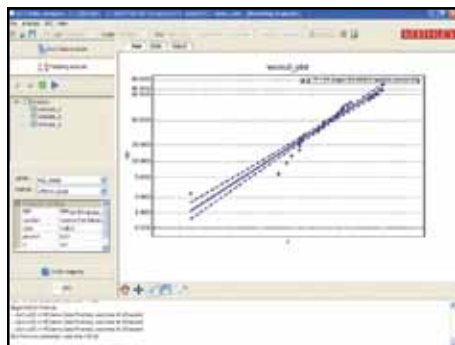
- инжекция горячих носителей (HCI);
- температурная нестабильность при отрицательном смещении (NBTI);
- температурная нестабильность при положительном смещении (PBTI).

Целостность оксидного слоя затвора:

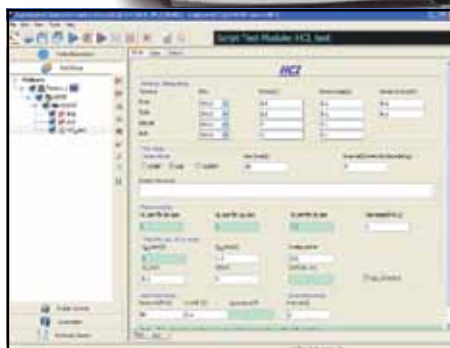
- зависящий от времени пробой диэлектрика;
- V_{RAMP} ;
- J_{RAMP} .

Металлические соединения:

- изотермический прогрев металлических соединений;
- поликристаллический нагреватель;
- постоянный ток;
- зависящий от времени пробой диэлектрика инжекционных лазерных диодов.



ACS-2600-RTM содержит широкий диапазон средств анализа данных и построения графиков, таких как приведенный на рисунке график результатов тестирования времени жизни инжектированных горячих носителей Вейбулла. Также возможно построение линейно-логарифмических, дважды логарифмических и других типов графиков. Встроенный инструмент построения графиков позволяет создавать пользовательские графики. Функция картирования пластины позволяет приписать цвета результатам тестирования для устройств, расположенных на полупроводниковой пластине, что позволяет легко и быстро обнаружить влияние дефектов обработки.



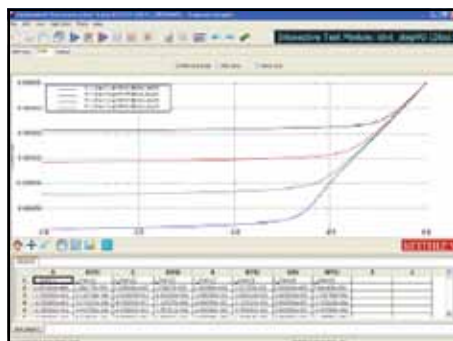
Процедуры тестирования на уровне пластины, соответствующие требованиям JEDEC, например инъекции горячих носителей (HCI), уже встроены в ACS-2600-RTM. На этом экране настройки процедуры тестирования все необходимые параметры объединены в одно диалоговое окно. Однако если требуется изменение этой стандартной процедуры, щелчок мышью на текстовых вкладках дает возможность видоизменить графический интерфейс и приспособить его к конкретным требованиям.

- Возможность конфигурирования от 2 до 44 каналов источников-измерителей, содержащих источники тока, напряжения и измерители тока и напряжения.
- Совместимость со всеми широко распространенными установками зондового контроля полупроводниковых пластин.
- Поддержка как последовательного, так и параллельного тестирования.
- Предусмотрена возможность использования на нескольких участках.
- Обширный набор тестов в соответствии с требованиями JEDEC.
- Построение графиков и картирование полупроводниковых пластин в режиме реального времени.

ПО ACS Basic Edition обеспечивает высокоскоростное управление измерительной аппаратурой, подключение устройств и работу с данными в удобной программной среде с целью контроля, изучения и анализа работы электронных компонентов



При необходимости быстро измерить параметры корпусного устройства удобный программный интерфейс с помощью мастеров настройки позволяет легко найти и выполнить желаемый тест, например показанное на рисунке стандартное измерение характеристик полевого транзистора



Как и традиционные аналоговые приборы для снятия характеристик, программный пакет ACS Basic Edition позволяет быстро получить семейство характеристик модуля, однако он дополнительно позволяет легко сохранять, сравнивать и анализировать результаты.

Программное обеспечение для параметрического тестирования компонентов и дискретных активных элементов

Программный пакет ACS Basic Edition

Компания Keithley разработала программный пакет ACS Basic Edition для максимального повышения эффективности работы технических специалистов и инженеров, измеряющих характеристики корпусных устройств как на этапе научных исследований, так и при разработке, контроле качества и изучении отказоустойчивости. В сочетании с одним или несколькими источниками-измерителями серии 2600 или 2400 программный пакет ACS Basic Edition является высокоэффективным и в то же время удобным в эксплуатации средством измерения характеристик электронных компонентов. Он содержит обширный набор функций для измерения параметров, позволяющий быстро и легко получить результаты, необходимые для проверки соответствия характеристик элементов техническим условиям, полного входного контроля, контроля качества и для понимания электрических свойств новых материалов и устройств.

Программный пакет ACS Basic Edition оптимизирован для достижения максимальной простоты эксплуатации. Например, графический интерфейс, имеющий мастер настройки, поможет пошагово выполнить процесс выбора типа устройства, категории теста и настройки выбранного теста. Этот пакет является идеальным решением, если у пользователя нет времени или намерения становиться квалифицированным инженером по испытаниям, однако при этом требуется быстро получить точные результаты, характеризующие работу устройства.

- Широкий набор аппаратных конфигураций для различных условий проведения тестирования.
- Оптимизировано для тестирования, контроля элементов и анализа данных.
- Не требует навыков программирования, позволяя при помощи удобного графического интерфейса программного пакета ACS измерять токи, напряжения, проводить анализ данных и быстро получать результаты.
- Переносимость программ тестирования: тестовые последовательности, созданные для одной конфигурации оборудования Keithley, будут без сбоев выполняться на совместимых установках с минимальными изменениями или совсем без изменений.
- Средства подготовки проекта позволяют легко сегментировать проекты для их совместной разработки несколькими специалистами.
- Гибкая модульная архитектура программного обеспечения упрощает расширение измерительных стендов и позволяет адаптировать существующие и отлаженные приложения к новым задачам тестирования.
- Дополнительная БЕСПЛАТНАЯ лицензия на автономное использование программного обеспечения упрощает разработку новых тестовых последовательностей на отдельном компьютере – нет необходимости подключать систему, используемую для текущей работы.

Измерения и формирование малых электрических сигналов

Использование современных устройств - от сверхпроводников и термоэлектрических преобразователей до точечных квантовых приборов и углеродных нанотрубок - требует измерения параметров при все более малых напряжениях. Широчайшие возможности аппаратуры компании Keithley для измерения малых напряжений удовлетворяют требованиям любых областей применения.

Измерения малых напряжений и сопротивлений

- 40 **Техническая информация**
- 44 **Сравнительная таблица**
- 45 **Удобное средство измерения малых напряжений, сопротивлений и дифференциальной проводимости в непрерывном и импульсном режиме**
Нановольтметр модели 2182A
- 46 **Источники тока, упрощающие измерение характеристик устройств**
Источник постоянного тока модели 6220
Источник постоянного тока и тока произвольной формы модели 6221

Более 50 лет компания Keithley является мировым лидером в области средств измерения и формирования малых токов. Благодаря представленным ниже инновационным изделиям компания Keithley продолжает расширять границы современных измерительных технологий.

Измерения малых токов и больших сопротивлений

- 47 **Техническая информация**
- 49 **Сравнительная таблица пикоамперметров, электрометров и источников-измерителей (измерение тока)**
- 50 **Сравнительная таблица источников и источников-измерителей (воспроизведение токов и напряжений)**
- 51 **Источник-измеритель рекордно малых токов**
Субфемтоамперный источник-измеритель модели 6430 с выносным предусилителем
- 52 **Непревзойденное средство измерения малых токов и больших сопротивлений**
Электрометр-измеритель больших сопротивлений модели 6517B
- 53 **Качество, проверенное временем**
Электрометр модели 6514
- 53 **Если требуется измерить только ток**
Пикоамперметр модели 6485
- 54 **Пикоамперметр со встроенным источником напряжения и измерителем сопротивления**
Пикоамперметр модели 6487
- 54 **Два пикоамперметра 6487 в одном корпусе со специальными функциями для оптических измерений**
Двухканальный пикоамперметр модели 2502

Генератор сигналов произвольной формы и функциональный генератор

- 55 **Исключительная точность измерения и воспроизведения малых токов**
Источник-измеритель модели 237
- 56 **Полнофункциональный генератор сигналов произвольной формы со стандартными интерфейсами LXI, GPIB и USB**
Генератор сигналов произвольной формы и функциональный генератор модели 3390

Техническая информация

Как выбрать вольтметр

Для измерения напряжения можно использовать различные типы средств измерений, в том числе цифровые мультиметры (Digital multimeters, DMM), электрометры, нановольтметры. Для точного измерения напряжения необходим вольтметр со значительно большим входным сопротивлением, чем внутреннее сопротивление источника напряжения, в частности, тестируемого устройства (ТУ). Если это условие не выполнено, вольтметр зарегистрирует меньшую разность потенциалов, чем та, которая существовала до его подключения. Электрометры обладают очень высоким входным сопротивлением (типичное значение порядка 100 ТОм (10^{14} Ом)), поэтому больше всего подходят для измерения напряжений источников с высоким внутренним сопротивлением. Цифровые мультиметры и нановольтметры, как правило, могут применяться для измерения напряжения источников с внутренним сопротивлением не более 10 МОм. Нановольтметры хорошо подходят для измерения малых напряжений порядка микровольт и ниже от источников с небольшим внутренним сопротивлением.

Измерение малых напряжений

Шумы и напряжения смещения разной природы, которые обычно можно игнорировать при измерении достаточно больших сигналов, способны внести значительные погрешности в результаты измерения малых напряжений. Постоянные напряжения смещения обычно можно учесть, закоротив измерительную цепь и включив функцию компенсации напряжения смещения измерительного прибора. Ниже рассмотрены нестабильные источники погрешностей, ухудшающие точность измерения малых напряжений, и способы минимизации их влияния на результаты измерения.

Термоэлектрический эффект

Наиболее широко распространенными источниками ошибок при измерениях малых напряжений являются термоэлектрические потенциалы (термоЭДС), возникающие при наличии разности температур между контактами проводников (рис. 1).

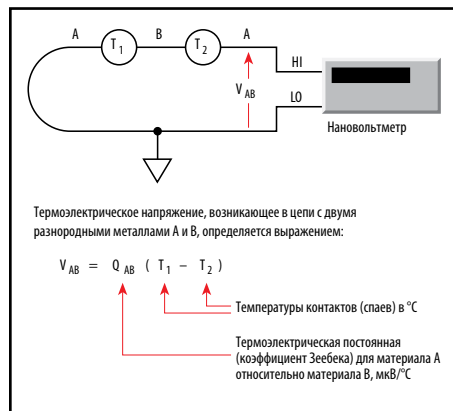


Рис. 1. Влияние термоэлектрического эффекта

Использование одного и того же металла для всех проводников электрической цепи сводит к минимуму влияние термоэлектрических эффектов. Например, соединения, выполненные посредством обжатия медных проводников медными втулками или наконечниками, образуют холодносварные соединения типа «медь–медь», которые генерируют минимальные термоэлектрические потенциалы.

Измерения малых напряжений и сопротивлений

Также необходимо следить за тем, чтобы соединения были чистыми, без окислов.

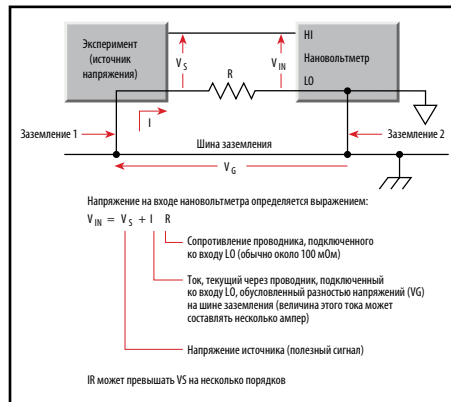


Рис. 2,а. Влияние нескольких точек заземления (контура заземления)

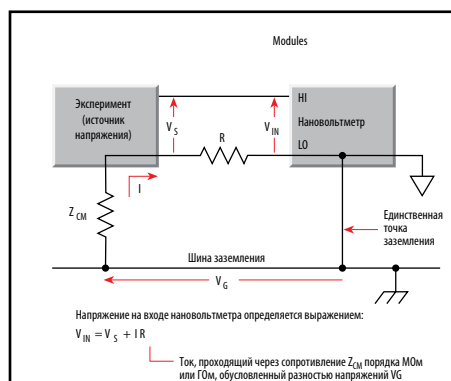


Рис. 2,б. Измерительная цепь с одной точкой заземления

Уменьшение температурных градиентов в цепи также уменьшает влияние термоэлектрических эффектов. Для минимизации температурных градиентов необходимо размещать все соединения рядом друг с другом и обеспечивать хороший тепловой контакт с общим массивным радиатором. Если это невозможно, следует обеспечить тепловой контакт между каждой парой соединений из разнородных металлов для минимизации разности температур между ними, что также способствует уменьшению влияния термоэлектрических эффектов.

Тепловой шум

Теоретический предел разрешения вольтметра по напряжению определяется тепловым (джонсоновским) шумом. Этот шум представляет собой напряжение, возникающее из-за движения электронов, обусловленного их тепловой энергией. Все источники напряжения обладают внутренним сопротивлением и, следовательно, создают тепловой шум. Напряжение теплового шума, возникающее на любом сопротивлении, можно рассчитать по следующей формуле:

$$V = \sqrt{4kTBR}$$

где k = постоянная Больцмана ($1,38 \times 10^{-23}$ Дж/К),
 T = абсолютная температура источника, град. Кельвина,
 B = ширина полосы частот шума, Гц,
 R = сопротивление источника, Ом.

Из этого уравнения видно, что тепловой шум можно снизить, уменьшая температуру и сужая полосу частот измеряемого напряжения. Сужение полосы частот эквивалентно увеличению времени отклика прибора; полосу частот можно сузить применением аналогового или цифрового фильтра нижних частот, который в простейшем случае получается путем увеличения времени интегрирования (обычно выбирается кратным целому числу периодов напряжения питающей сети).

Токи через контуры заземления

Если источник сигнала и измерительный прибор соединены с общей шиной заземления, создается контур заземления (рис. 2,а). Это происходит, например, при включении аппаратуры в сетевые розетки, расположенные в разных приборных стойках или в разных частях помещения. Между точками заземления часто существует разность потенциалов. Даже незначительная разность потенциалов может привести к протеканию больших токов и возникновению непредвиденных перепадов напряжения. Чтобы избежать возникновения контуров заземления, необходимо заземлять всю измерительную цепь в одной единственной точке. Самый простой способ для этого - изолировать тестируемое устройство (источник) и найти одну точку качественного заземления для измерительной системы, как показано на рис. 2,б. Следует избегать заземления чувствительных измерительных цепей на систему заземления, которая уже используется для других приборов, механизмов или мощной аппаратуры.

Магнитные поля

Магнитные поля создают наводки в двух случаях: 1) если поле изменяется во времени и 2) если цепь и поле перемещаются друг относительно друга (рис. 3,а). Переменные магнитные поля могут создаваться при движении проводника в магнитном поле, локальными переменными токами, создаваемыми компонентами измерительной системы, а также в случае управляемого изменения магнитного поля, например, при измерениях магнитного сопротивления.

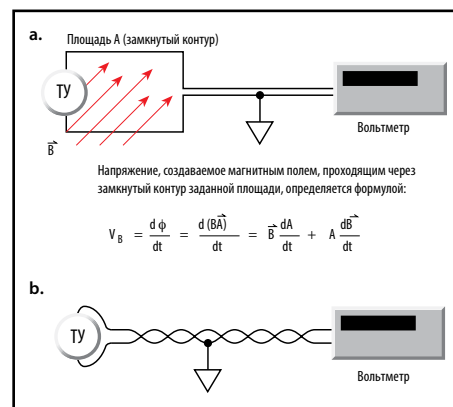


Рис. 3. Минимизация магнитных наводок путем применения витой пары

Чтобы свести к минимуму магнитные наводки, проводники должны проходить рядом друг с другом и быть закреплены для уменьшения перемещения.

Витая пара проводников снижает влияние магнитных полей по двум причинам: во-первых, она уменьшает площадь контура, в котором наводятся магнитные помехи; во-вторых, магнитное поле в соседних ячейках витой пары

Измерения малых напряжений и сопротивлений

создает напряжения противоположных полярностей, которые взаимно компенсируют друг друга (рис. 3,б).

Измерение малых сопротивлений

Малые сопротивления ($< 10 \text{ Ом}$), как правило, лучше всего измерять, пропуская через них ток и измеряя падение напряжения. Для очень малых сопротивлений (микроомы и менее) или при необходимости ограничить рассеиваемую мощность этот метод требует измерения очень малых напряжений, часто с помощью нановольтметра. В этом случае необходимо учитывать все источники ошибок и руководствоваться всеми указаниями, описанными выше для измерения малых напряжений. Кроме того, при измерении малых сопротивлений имеются дополнительные источники ошибок. В следующих разделах описываются способы, позволяющие минимизировать некоторые из них.

Влияние сопротивления соединительных проводов.

Четырехпроводная схема подключения

Измерения сопротивлений в обычном диапазоне ($> 10 \text{ Ом}$) обычно выполняются с помощью двухпроводной схемы, показанной на рис. 4,а.

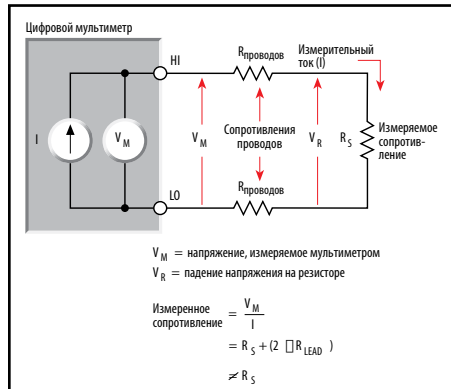


Рис. 4а. Двухпроводная схема подключения: ошибка, вызванная влиянием сопротивления соединительных проводов

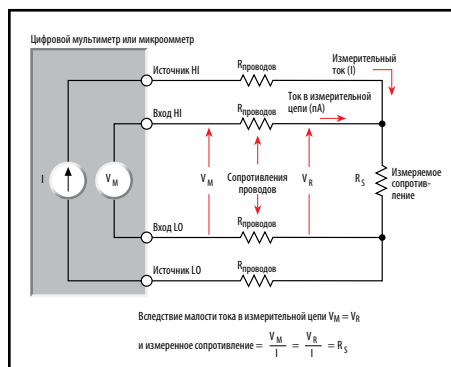


Рис. 4б. Четырехпроводная схема подключения для измерения сопротивлений

Основной проблемой при использовании двухпроводной схемы подключения для измерения малых сопротивлений ($< 10 \text{ Ом}$) является появление погрешности, обусловленной сопротивлением проводников. В данном случае напряжение, измеренное прибором, представляет собой сумму напряжений на измеряемом резисторе и падений напряжения на соединительных проводах. Типовое значение сопротивления проводников находится в диапазоне от 1 мОм до 100 мОм . Поэтому для измерения малых сопротивлений предпочтительней использовать четырехпроводную схему подключения (схема Кельвина), показанную на рис. 4,б. В этой конфигурации измерительный ток пропускается через тестируемое устройство через одну пару проводов, а падение напряжения измеряется с помощью другой пары проводов, называемых измерительными. Через измерительные провода протекает очень малый ток, поэтому влиянием их сопротивления можно пренебречь.

Термоэлектродвижущие силы

Термоэлектрические потенциалы могут существенно снизить точность измерения малых сопротивлений. Если при измерении сопротивления есть возможность управлять током через тестируемое устройство, то следует использовать методы, позволяющие исключить влияние нежелательных напряжений смещения помимо методов, которые используются при измерении малых напряжений, а именно метод компенсации напряжения смещения и метод реверсивных токов.

- Метод компенсации напряжения смещения (рис. 5,а). В этом методе ток источника пропускается через измеряемое сопротивление только в течение части измерительного цикла. Когда ток источника выключен, напряжение, измеряемое прибором, равно сумме напряжения, обусловленного измерительным током, и всех напряжений смещения, в частности, термоЭДС, имеющихся в цепи. Во время второй половины измерительного цикла источник тока выключен, и измеренное напряжение равно сумме всех напряжений смещения. Теперь его можно вычесть из напряжения, измеренного во время первой половины цикла измерений. При использовании метода компенсации напряжения смещения величина тока источника задается измерительным прибором. Для измерения характеристик устройства при заданных значениях тока используется более универсальный метод реверсивных токов, описанный ниже.

- Метод реверсивных токов (рис. 5,б) Термоэлектрические потенциалы также можно учесть, измерив напряжения при пропускании измерительного тока в прямом и обратном направлениях. В этом случае напряжение, обусловленное измерительным током, можно рассчитать по формуле, приведенной на рис. 5,б. Этот метод обеспечивает в два раза лучшее отношение сигнал/шум и, следовательно, большую точность, чем метод компенсации напряжения смещения. Метод реверсивных токов реализован в комбинации нановольтметра модели 2128А с источником тока модели 6220 или 6221.

Чтобы данный метод был эффективным, последовательные измерения необходимо делать быстро по сравнению с постоянной времени тепловых процессов измеряемой цепи. Если быстроедействие прибора слишком мало, изме-

нения температуры цепи во время измерительного цикла приведут к изменениям термоэлектрических потенциалов, в результате чего термоэлектрические эффекты не будут полностью учтены.

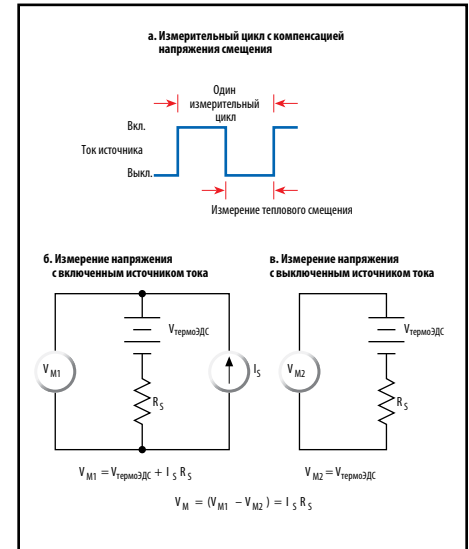


Рис. 5а. Учет термоэлектрических напряжений $V_{\text{термоЭДС}}$ в методе компенсации напряжения смещения

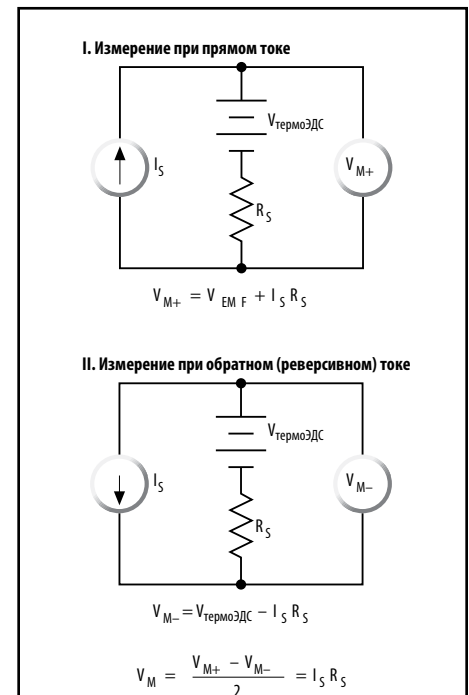


Рис. 5б. Учет термоэлектрических напряжений $V_{\text{термоЭДС}}$ в методе реверсивных токов

Измерения малых напряжений и сопротивлений

Разностный метод («дельта-метод»)

Разностный метод устраняет ошибки, вызванные изменением термоэлектрических напряжений (смещение и дрейф), и существенно снижает белый шум. Это позволяет выполнить более точные измерения не только малых, но и любых сопротивлений при наличии ограничения рассеиваемой мощности в измеряемом устройстве. Данный способ обладает тремя преимуществами по сравнению с методом реверсивных токов.

В данном методе также вычисляются разности напряжений, измеряемых при протекании прямого и обратного измерительного тока. Как и метод реверсивных токов, разностный метод позволяет учесть постоянное напряжение смещения путем изменения направления измерительного тока. Однако разностный метод также позволяет учесть изменяющуюся часть напряжения смещения путем трехкратного изменения тока источника для нахождения двух разностей напряжений: при изменении прямого тока на обратный и при изменении обратного тока на прямой. Это позволяет десятикратно уменьшить погрешности, вызванные термоДДС, по сравнению с методом реверсивных токов (рис. 6).

Разностный метод обеспечивает точное измерение интересующего напряжения и полностью исключает погрешность, связанную с постоянными и переменными термоэлектрическими потенциалами, но это возможно только в том случае, если источник тока быстро переключает полярность тока, а вольтметр выполняет точное измерение напряжения за короткий период времени. Источники тока моделей 6220 и 6221 вместе с нановольтметром модели 2182A оптимизированы именно для таких задач. Эти изделия реализуют разностный метод так, чтобы дополнительно

обеспечить лучшую устойчивость к белому шуму, чем метод реверсивных токов, путем выполнения измерений в течение более чем 90% времени измерительного цикла. Кроме того, разностный метод является более быстрым (до 47 измерений в секунду), что позволяет использовать его для более широкого круга задач. Примечательно, что используемая в разностном методе формула совпадает с формулой, применяемой для измерения дифференциальной проводимости (рис. 10).

Импульсные измерения малых напряжений

Использование коротких измерительных импульсов приобретает все большее значение по мере уменьшения размеров современных электронных устройств: короткие импульсы уменьшают мощность, рассеиваемую в тестируемом устройстве. Для очень малых устройств иногда достаточно незначительной мощности, чтобы повредить или разрушить их. В других устройствах даже небольшая рассеиваемая мощность существенно повышает температуру, что может привести к неверным результатам, например, в случае сверхпроводниковых устройств. Тепловая мощность, рассеиваемая в измеряемом устройстве и проводах, зависит от тока I и сопротивления R и вычисляется по формуле I^2R . При измерении сопротивления устройств с самым низким сопротивлением ($< 10 \text{ мкОм}$) тепловая мощность выделяется главным образом в местах контактов и др., а не в самом устройстве. Необходимо закончить измерение прежде, чем это тепло передастся в само устройство, поэтому быстрые импульсные измерения имеют очень большое значение даже в случае крайне малых сопротивлений.

При измерении сопротивления устройств с более высоким сопротивлением существенная мощность рассеивается в самом устройстве. Поэтому здесь важнее снизить мощность, рассеиваемую во время измерения, уменьшив подаваемый ток или ширину импульса тока. Во многих тестах параметры устройства определяются в некотором диапазоне токов, поэтому уменьшить ток, как правило, невозможно. Тогда единственным выходом является использование более коротких импульсов.

Для формирования коротких импульсов используется источник тока 6221, имеющий время нарастания порядка нескольких микросекунд во всех диапазонах. Нановольтметр 2182A запускается триггерным сигналом с малой задержкой, что позволяет начать измерения всего через 10 мкс после того, как источник 6221 подаст импульс тока. Ширина импульса, включая длительность выполнения измерений в нановольтовом диапазоне, может составлять всего 50 мкс. Кроме того, все импульсные измерения, выполняемые комплектом 6221/2182A, синхронизированы с частотой питающей сети. Такая синхронизация в сочетании с разностным методом позволяет исключить шумы, кратные частоте 50 Гц (рис. 7).

Измерения при малых токах

Задачи измерения сопротивления контактов могут включать требование сохранности оксидных слоев в процессе измерений ("dry circuit testing"). Это требование обеспечивается путем ограничения измерительного тока значением 100 мА и падения напряжения на образце значением 20 мВ. Большинство приборов для измерения малых сопротивлений оснащены такой встроенной функцией ограничения тока и напряжения.

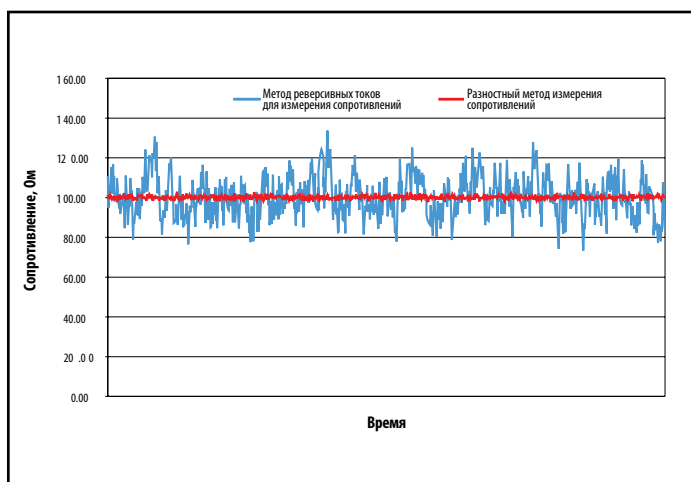


Рис. 6. Результаты измерения сопротивления резистора 100 Ом при токе источника 10 А (1000 отсчетов полученных разными методами)

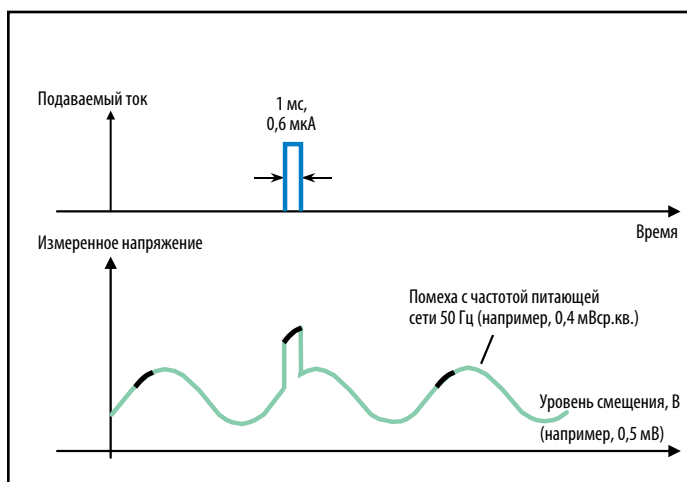


Рис. 7. При работе с низкими уровнями напряжения измерения могут быть подвержены помехам с частотой сети электропитания. Применение синхронизации с напряжением питающей сети устраняет помехи с частотами, кратными 50 Гц

Измерения сопротивлений при нановольтовых напряжениях

В макроскопическом мире проводники подчиняются закону Ома (рис. 8,а), однако в наномасштабе закон Ома перестает выполняться (рис. 8,б). Поскольку крутизна вольтамперной характеристики материала перестает быть фундаментальной постоянной, для анализа наноструктур необходимо детальное изучение крутизны вольтамперной характеристики. График дифференциальной проводимости ($dG = dI/dV$) является наиболее важной характеристикой мелкокомпонентных устройств, однако для его получения требуется преодолеть ряд трудностей.

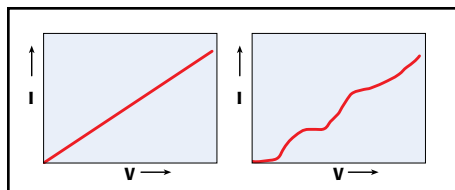


Рис. 8,а. Макроскопический масштаб (классический случай)

Рис. 8,б. Наномасштаб (квантовый случай)

Измерения дифференциальной проводимости выполняются во многих областях исследований, хотя иногда они называются по-другому, например, электронная энергетическая спектроскопия, туннельная спектроскопия или плотность состояний. Фундаментальная причина, по которой дифференциальная проводимость представляет существенный интерес, заключается в том, что она достигает максимума при тех напряжениях (или, точнее говоря, при энергиях в эВ), при которых электроны наиболее активны. Поэтому производная dI/dV прямо пропорциональна плотности электронных состояний и служит наиболее прямым способом ее измерения.

Существующие методы измерения дифференциальной проводимости

Метод вольтамперной характеристики

В этом методе выполняется измерение вольтамперной характеристики путем развертки, например, тока, после чего вычисляется производная. Этот метод прост, но ему присущ высокий уровень шума. Для него требуется только один источник и один измерительный прибор, что упрощает синхронизацию и управление. Основная трудность заключается в том, что при дифференцировании результатов измерений даже небольшой шум на измеренной характеристике приводит к высокому уровню шума дифференциальной проводимости (рис. 9). Для уменьшения шума вольтамперную характеристику и ее производную необходимо измерять несколько раз. При этом шум уменьшается в $\sqrt{N}$ раз, где N – число измерений вольтамперной характеристики.

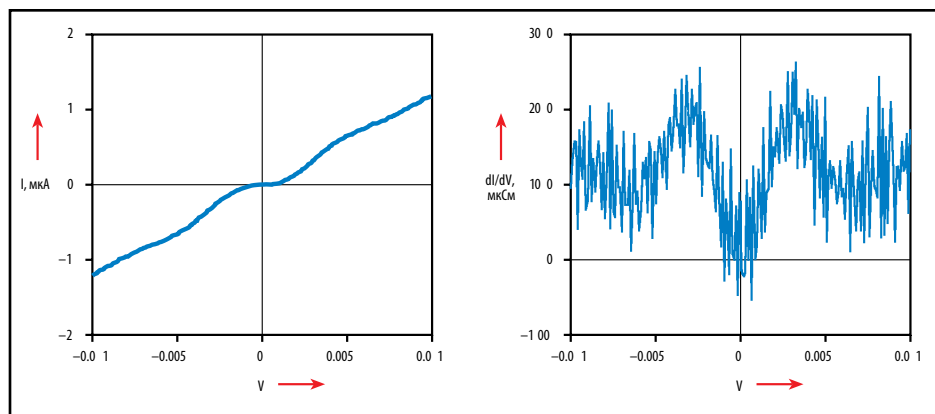


Рис. 9,а. Вольтамперная характеристика

Рис. 9,б. Производная вольтамперной характеристики. Истинная кривая dI/dV искажена шумом.

Метод переменного сигнала

В методе переменного сигнала на ступенчато изменяющийся постоянный сигнал, подаваемый на устройство, накладывают синусоидальный сигнал малой амплитуды. Для измерения переменного напряжения на устройстве и проходящего через него переменного тока используют синхронные усилители. Недостатком этого метода является сложность системы, требующей точной синхронизации и компьютерного управления от шести до восьми приборов при незначительном уменьшении шума по сравнению с методом вольтамперной характеристики. Метод усложняется необходимостью суммирования переменного сигнала и постоянного смещения, образованием контуров заземления и наличием шумового тока в униполярной схеме.

Компания Keithley разработала новый простой метод, обеспечивающий малый уровень шума: метод зондирующего тока с четырехпроводной схемой измерения.

Метод зондирующего тока с четырехпроводной схемой измерения

Данный метод представляет собой другой подход к измерению дифференциальной проводимости. Он основан на добавлении реверсивного тока к линейно нарастающему току. Амплитуда реверсивной составляющей тока представляет собой дифференциальный ток dI (рис. 10). Эта амплитуда остается неизменной на протяжении всей длительности ступенчатой развертки тока. После измерения напряжений на каждой ступени тока рассчитываются разности напряжений между последовательными ступенями. Для расчета дифференциального напряжения dV каждая разность напряжений усредняется с предыдущей разностью напряжений. После этого дифференциальная проводимость dG может быть найдена с помощью отношения dI/dV . При использовании нановольтметра модели 2182А и источника тока модели 6220 или 6221 эта методика требует выполнения измерений только на протяжении одной развертки, поэтому она быстрее, проще и дает меньший уровень шума, чем другие методы, описанные выше.

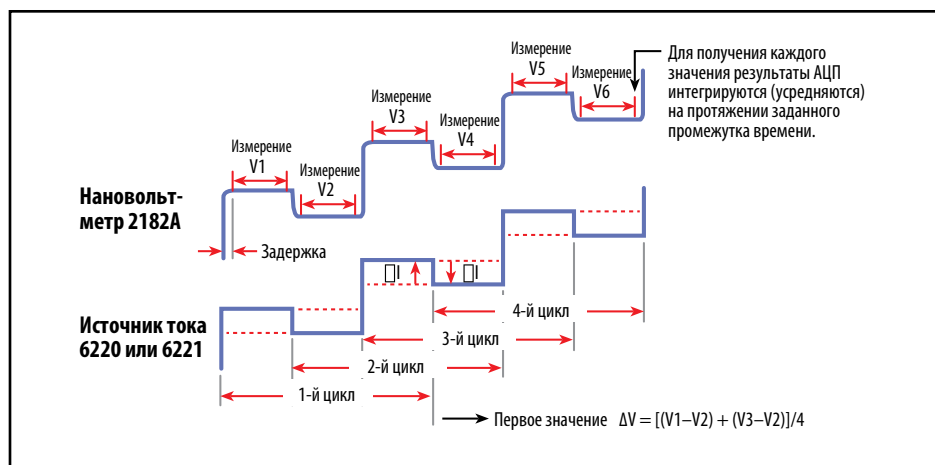


Рис. 10. Описание алгоритма метода зондирующего тока с четырехпроводной схемой измерения

Сравнительная таблица

Измерения малых напряжений и сопротивлений

Модель	2182A	6220/6221	3706A	2750	2010	2002
ДИАПАЗОН НАПРЯЖЕНИЙ (все поддиапазоны)						
От	10 мВ	Н/П	100 мВ	100 мВ	100 мВ	200 мВ
До	100 В	Н/П	300 В	1000 В	1000 В	1000 В
Входной шум по напряжению	1,2 нВ (СКЗ)	Н/П	100 нВ (СКЗ)	< 1,5 мкВ (СКЗ)	100 нВ (СКЗ)	150 нВ (СКЗ)
ДИАПАЗОН ТОКА						
От	нет	100 фА (2 пА пик. для перем. тока для модели 6221)	нет	нет	нет	нет
До	нет	±105 мА (100 мА пик. для перем. тока для модели 6221)	нет	нет	нет	нет
ДИАПАЗОН СОПРОТИВЛЕНИЙ						
От ²	10 нОм ³	10 нОм (при использовании с 2128A)	0,9 МОм	0,4 МОм	0,9 МОм	1,2 МОм
До ³	100 МОм ⁴	100 МОм (при использовании с 2182A)	100 МОм	100 МОм	100 МОм	1 ГОм
ДИАПАЗОН ИЗМЕРЯЕМЫХ ТЕМПЕРАТУРЫ (при помощи термопар)						
От	–200 °C	нет	–150 °C	–200 °C	–200 °C	–200 °C
До	1820 °C	нет	1820 °C	1820 °C	1372 °C	1820 °C
ОСОБЕННОСТИ						
IEEE 488	да	да	да	да	да	да
RS-232	да	да	нет	да	да	да
CE	да	да	да	да	да	да
Входные разъемы	Специальные разъемы с малой термоЭДС, с медными выводами. Комплект измерительных принадлежностей 2187-4 (приобретается дополнительно) включает разъемы «банан», пружинные зажимы, игольчатые наконечники и зажимы «крокодил».	Триггерная линия, линии цифрового ввода/вывода, Ethernet	15-контактный разъем D-SUB на задней панели. Дополнительные принадлежности: 3706-BAN, 3706-BKPL, 3706-TLK	Разъемы «банан» (4)	Разъемы «банан» (4)	Разъемы «банан» (4)
Отличительные особенности	Разностный режим и измерение дифференциальной проводимости совместно с моделью 6220 или 6221. Импульсное измерение вольтамперных характеристик совместно с моделью 6221. Аналоговый выход. IEEE 488. RS-232.	Управляет моделью 2182A для измерений токов, напряжений и сопротивлений при малой мощности.	Измерение при малом токе (Dry circuit). Компенсация смещения. Сменные платы коммутаторов или реле. USB. LXI, класс В/Ethernet IEEE-1588. Цифровые линии ввода/вывода	Измерение при малом токе (Dry circuit). Компенсация смещения. Набор функций цифрового мультиметра. IEEE 488 (GPIB). RS-232. Цифровые линии ввода/вывода. Сменные платы коммутации.	Измерение при малом токе (Dry circuit). Компенсация смещения. Набор функций цифрового мультиметра. IEEE 488 (GPIB). RS-232. Цифровые линии ввода/вывода. Сменные платы коммутации.	Разрешение 8-½ разряда. Набор функций цифрового мультиметра. Сменные сканирующие платы.

ПРИМЕЧАНИЯ

1. СКЗ – среднеквадратическое значение.
2. Погрешность измерения самых малых сопротивлений не более 10%.
3. Погрешность измерения самых больших сопротивлений не более 1%.
4. Разностный режим и компенсация напряжения смещения при работе с внешним источником тока. Значение 10 нОм получено при использовании с моделью 2440 и измерительном токе 5 А.

Измерения малых токов и больших сопротивлений

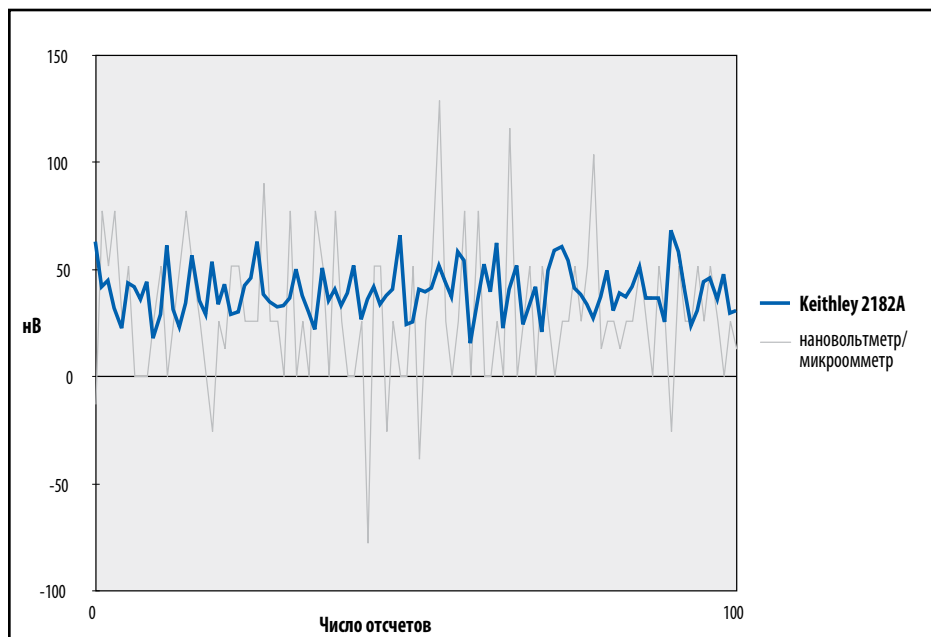
Удобное средство измерения малых напряжений, сопротивлений и дифференциальной проводимости в непрерывном и импульсном режиме



Нановольтметр модели 2182A

- Позволяет измерять:
 - напряжения от 10 нВ до 100 В;
 - вольтамперные характеристики в импульсном режиме при ширине импульсов до 50 мкс (с моделью 6221);
 - дифференциальную проводимость с моделью 6220 или 6221;
 - сопротивления от 10 нОм до 100 МОм;
 - температуры с помощью термопар от -200°C до 1820°C .
- Два канала для измерения напряжения, температуры или отношения неизвестного сопротивления к эталонному.
- Синхронизация измерений с напряжением питающей сети обеспечивает коэффициент подавления сетевых синфазных помех (NMRR) до уровня 110 дБ и минимизирует влияние синфазных токов.
- В разностном режиме синхронизирует измерения с реверсивным источником тока с частотой до 24 Гц и усредняет результаты нескольких измерений для снижения шума до 1 нВ.

Двухканальный нановольтметр модели 2182A оптимизирован для выполнения измерений напряжений с низким уровнем входного шума. Он позволяет надежно и с хорошей повторяемостью результатов измерять характеристики низкоомных материалов и устройств. Нановольтметр 2182A имеет высокую скорость измерений и значительно лучшие шумовые параметры, чем альтернативные решения для измерения малых напряжений. Модель 2182A является заменой нановольтметра модели 2182 компании Keithley и обеспечивает расширенную функциональность, включая возможность работы в импульсном режиме, меньший уровень шума и синхронизацию с источником тока. Кроме того, прибор упрощает измерение сопротивлений в разностном режиме в сочетании с реверсивным источником тока компании Keithley, например, моделей 6220 или 6221.



Сравнение шумовых характеристик модели 2182A и аналогичного нановольтметра/микроамперметра другого производителя при измерении постоянного напряжения. Представленные данные были получены при скорости считывания 10 измерений в секунду, вход закорочен перемычкой с малой термоЭДС

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

2107-4 – входной кабель с малыми термо-ЭДС, длина 1,2 м, четыре клеммы;
руководство по эксплуатации;
руководство по обслуживанию;
очиститель для контактов;
провод электропитания;
зажимы типа «крокодил».



Задняя панель модели 2182A

Измерения малых токов и больших сопротивлений



Источники тока, упрощающие измерение характеристик устройств

Источник постоянного тока модели 6220

Источник постоянного тока и тока произвольной формы модели 6221

Источник постоянного тока модели 6220 и источник постоянного тока и тока произвольной формы модели 6221A сочетают в себе простоту эксплуатации с исключительно низким уровнем шума. Воспроизведение малых токов исключительно важно на всех этапах создания новейших полупроводниковых, сверхпроводниковых и наноразмерных устройств, начиная от исследований и разработок и заканчивая производством и тестированием готовой продукции. Высокая точность источника и встроенные функции управления делают модели 6220 и 6221 идеальными для таких задач, как измерения эффекта Холла, дифференциальной проводимости, сопротивлений в разностном режиме и импульсных измерений.

Модель 6221 — это единственный доступный на рынке источник малых переменных токов. Он обеспечивает лучшую точность, стабильность, надежность и устойчивость, чем источники тока, изготавливаемые пользователями для своих нужд. Модель 6221 — это также единственный представленный на рынке генератор тока произвольной формы, значительно упрощающий создание и формирование сигналов тока сложной формы.

Во многих случаях источник тока 6220 (или 6221) можно объединить с нановольтметром модели 2182 для получения эффективной измерительно-питающей системы, измеряющей малые напряжения и сопротивления. Такая система удобна в эксплуатации, поскольку с двумя этими приборами можно обращаться как с единым средством измерения. Несложные операции по соединению приборов устраняют проблемы, связанные с токами утечки и шумовыми токами, возникающими при использовании аналоговых средств измерения. Соединение моделей 6220 (или 6221) и 2182A представляют собой наиболее законченное решение для измерения дифференциальной проводимости. Кроме того, это самое быстродействующее средство измерения, обеспечивающее десятикратный выигрыш по скорости и меньший шум, чем существующие аналоги других производителей. Комбинация приборов 6220 (или 6221) и 2182 позволяет также реализовывать разностный метод, который устраняет ошибки, вызванные изменяющимся термоэлектрическими потенциалами, и проводить импульсные измерения токов, напряжений и сопротивлений с минимальной длительностью импульса 50 мкс.



- Диапазон малых постоянных токов: от 2 нА до 100 мА (вся шкала).
- Исключительно низкий токовый шум: от 400 фА (размах).
- Интерфейсы RS-232, GPIB, триггерные линии, цифровой вход/выход и Ethernet (только для модели 6221).
- Триаксиальный выход упрощает создание схем подключения с охраняемыми электродами.
- Режим программной совместимости с моделью 220.
- Универсальное программное обеспечение

Только для модели 6221

- Диапазон переменного тока: от 4 пА до 210 мА
- Очень малая ширина импульсов: менее 5 мкс.
- Частотный диапазон: от 1 МГц до 100 кГц.
- Генератор сигналов произвольной формы.

Для систем 6220/2182A и 6221/2182A

- Диапазон измерений: от 10 нОм до 100 МОм.
- Режим измерения дифференциальной проводимости: в 10 раз быстрее и с меньшим шумом, чем аналогичные технические решения.
- Разностный режим: улучшает точность измерения сопротивлений до 1000 раз.
- Импульсный режим (только для 6221/2182A): согласование импульсов тока и измерений длительностью до 50 мкс.
- Простота настройки, простота эксплуатации (нажатие двух кнопок).

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

237-ALG-2 — маложужащий входной кабель длиной 2 м, триаксиальный кабель с зажимами типа «крокодил»;

8501-2 — кабель триггерных соединений длиной 2 м для подключения 6220 (или 6221) к 2182A;

CA-180-3A — Ethernet кросс-кабель (только для модели 6221);

CA-351 — кабель связи для соединения 2182a и 6220 (или 6221);

CS-1195-2 — кабель защитной блокировки;

руководство по эксплуатации на CD;

руководство по установке (печатная копия);

программное обеспечение (загружаемое с сайта производителя).

Техническая информация

Амперметр — это прибор для измерения электрического тока, откалиброванный в амперах. Существует два основных типа амперметров: амперметры на источнике напряжения, управляемом напряжением (ИНУН) и амперметры на источнике напряжения, управляемом током (ИНУТ).

Амперметры на ИНУН и ИНУТ

Амперметры на ИНУН — самый распространенный тип приборов, они используются во многих задачах. Амперметры на ИНУТ лучше приспособлены для измерения малых токов; сфера их применения расширяется, поскольку измерительные токи для современных устройств постоянно уменьшаются. Однако выбор соответствующего амперметра зависит не только от величины тока, но также от характеристик тестируемого устройства (ТУ), особенно от его сопротивления.

Амперметры на ИНУН: цифровые мультиметры

Амперметры на ИНУН используются практически во всех цифровых мультиметрах (DMM). Эти приборы измеряют ток по падению напряжения на измерительном резисторе, пропорциональному измеряемому току, которое подается на вход ИНУН (рис. 1).

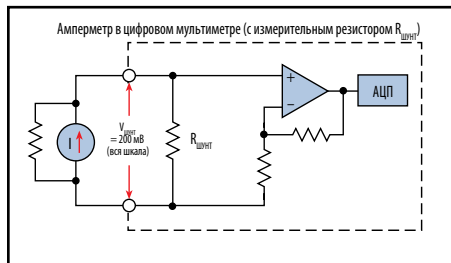


Рис. 1

Основным недостатком амперметров на ИНУН является то, что они имеют большое входное сопротивление. Этот недостаток становится все более существенным при уменьшении тока, поскольку для создания напряжения, которое можно измерить с приемлемой погрешностью, необходимо использовать измерительный резистор большего номинала. Однако в тех случаях, когда номинал измерительного резистора значительно меньше сопротивления тестируемого устройства и измеряемые токи не слишком малы (не намного меньше микроамперного уровня 10^{-6} А), использование амперметров на ИНУН дает хорошие результаты.

Падение напряжения

Напряжение на входных клеммах амперметра называется падением напряжения. Оно может привести к значительному уменьшению тока, протекающего через нагрузку по сравнению с током, протекающим без амперметра. Следовательно, амперметр не сможет точно измерить ток, который он должен был измерить.

Идеальный амперметр не должен влиять на ток, протекающий в цепи, следовательно, он должен иметь нулевое входное сопротивление и нулевое падение напряжения. Реальный амперметр всегда создает ненулевое падение напряжения. Вообще говоря, ошибка, вносимая амперметром, определяется как падение напряжения на амперметре,

деленное на сопротивление тестируемого устройства. Падение напряжения на амперметре с шунтом обычно составляет порядка нескольких сотен милливольт.

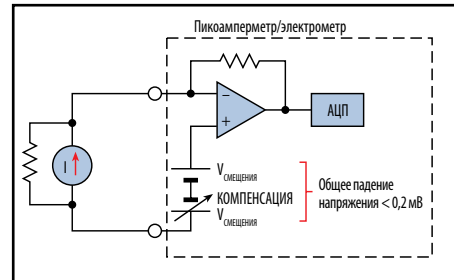


Рис. 2

Амперметры на ИНУТ

Амперметры на ИНУТ ближе к «идеальным приборам», чем амперметры с шунтом. Их следует использовать для измерения микроамперных (10^{-6} А) и меньших токов, а также в тех случаях, когда особенно важно использовать амперметр с малым входным сопротивлением. Вместо падения напряжения на входных клеммах амперметра на ИНУТ формируется падение напряжения в цепи обратной связи операционного усилителя с большим коэффициентом усиления (рис. 2). Это напряжение также пропорционально измеряемому току. Однако оно измеряется не на входе прибора, а посредством выходного напряжения операционного усилителя. Входное напряжение равно выходному напряжению, деленному на коэффициент усиления операционного усилителя (обычно 100 000), поэтому падение напряжения обычно сокращается до нескольких микровольт. Архитектура амперметра на ИНУТ обеспечивает малое падение напряжения, он вносит меньшую ошибку при измерении малых токов и токов, создаваемых устройствами с малым сопротивлением. В электрометрах и пикоамперметрах компании Keithley используются амперметры на ИНУТ.

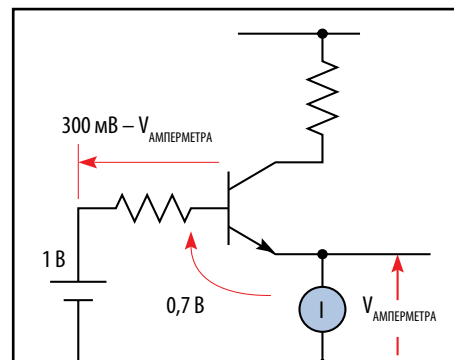


Рис. 3

Рис. 3 иллюстрирует проблему, обусловленную существенным падением напряжения при измерении тока эмиттера транзистора. Несмотря на то, что основные измерения тока находятся в пределах возможностей цифрового мультиметра, падение напряжения на цифровом мультиметре существенно снижает напряжение, приложенное к базе,

что приводит к уменьшению тока эмиттера. Если вместо цифрового мультиметра использовать пикоамперметр или электрометр, падение напряжения будет вызывать пренебрежимо малое изменение тока эмиттера.

Источники ошибок, обусловленных генерируемыми паразитными токами

При измерении малых токов имеется ряд источников ошибок, которые могут существенно ухудшить точность измерений. Все амперметры имеют незначительный входной ток, который протекает даже при разомкнутых входах. Этот ток смещения может быть частично скомпенсирован при включении функции установки нуля. Внешние токи утечки являются дополнительными источниками ошибок, поэтому большое значение имеет схема подключения тестируемого устройства с использованием электромагнитного и охранного экранирования. На шумовые характеристики амперметра также влияет внутреннее сопротивление тестируемого устройства. Кроме того, в измерительной системе создаются другие посторонние токи, которые могут складываться с измерительным током и увеличивать погрешность. Ниже описаны различные виды таких токов и способы минимизации их влияния на результат измерения.

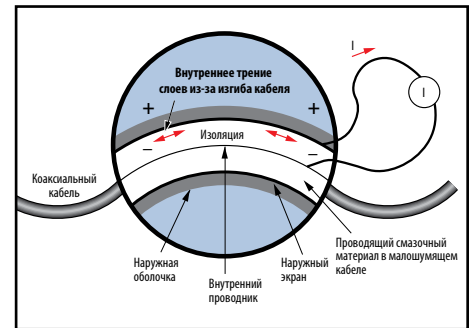


Рис. 4

Трибоэлектрический эффект возникает из-за несбалансированности зарядов, связанной с трением между проводником и изолятором (рис. 4). Малошумящие кабели компании Keithley значительно снижают этот эффект за счет использования внутреннего изолятора из полиэтилена, покрытого слоем графита, соприкасающегося с наружным экраном. Этот графитовый слой служит смазкой и образует проводящий эквипотенциальный цилиндр, выравнивающий заряды и сводящий к минимуму образование зарядов.

Пьезоэлектрические токи создаются при возникновении механического напряжения в некоторых кристаллических материалах, которые используются для изоляции выводов и изготовления соединительных приспособлений. В некоторых пластмассах очаги накопленного заряда приводят к тому, что материал начинает вести себя подобно пьезоэлектрическому материалу. На рис. 5 в качестве примера показан вывод с изолятором, выполненным из пьезоэлектрического материала. Для минимизации тока, вызванного этим эффектом, необходимо избегать механических напряжений изолятора и использовать изоляционные материалы с минимальными пьезоэлектрическими свойствами и способностью накапливать заряды.

Техническая информация

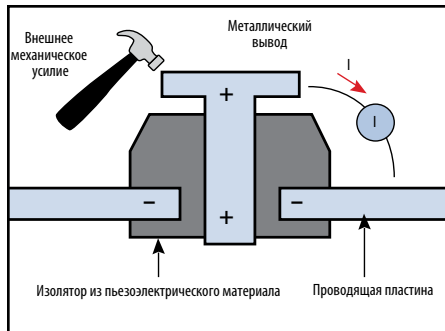


Рис. 5



Рис. 6

Загрязнения и влажность могут создавать токи ошибки вследствие электрохимических эффектов, возникающих при попадании загрязнений (ионных электролитов) между двумя проводниками печатной платы и образующих слабые гальванические элементы. В частности, в широко используемых печатных платах из стеклотекстолита при наличии остатков раствора для травления, флюса, масел, солей (например, в следах пальцев) и других загрязнений, могут создаваться токи порядка нескольких наноампер (рис. 6). Чтобы избежать влияния загрязнений и влажности, следует выбирать изоляторы, не поглощающие влагу, и поддерживать влажность на умеренном уровне. Кроме

того, необходимо следить за тем, чтобы все изоляторы были чистыми, без загрязнений.

На рис. 7 приведены типовые значения генерируемых паразитных токов

Измерения больших сопротивлений

Для измерения больших сопротивлений ($> 1 \text{ ГОм}$) чаще всего к неизвестному сопротивлению прикладывают постоянное напряжение U . Возникающий ток I измеряют с помощью последовательно включенного амперметра, при этом измеряемое сопротивление R рассчитывают по закону Ома ($R = U/I$). Такой способ в противоположность подаче зондирующего тока и измерению падения напряжения предпочтителен при измерении больших сопротивлений, поскольку большие сопротивления часто изменяются в зависимости от приложенного напряжения. Поэтому важно измерять сопротивление при заданном и контролируемом напряжении. Чаще всего такой способ требует измерения малых токов с помощью электромметра или пикоамперметра. В этом случае применяются описанные выше типы амперметров для измерения малых токов, и действуют соответствующие источники ошибок.

Кроме того, типичным источником ошибок при измерении больших сопротивлений являются токи утечки. Они протекают через изоляторы между измеряемой цепью и расположенными рядом источниками напряжения. Токи утечки можно уменьшить путем использования охранного экранирования (guarding), чистых высококачественных изоляторов и уменьшения влажности.

Типовые значения сопротивлений различных изоляционных материалов приведены на рис. 8. Поглощенная влага может изменить сопротивление некоторых изоляторов

на несколько порядков. В таблице 1 приведены некоторые параметры применяемых изоляторов, в т.ч. данные по поглощению воды.

Метод изменения полярности напряжения

При измерении сопротивления высокоомных материалов генерируемые токи и токи утечки могут привести к существенным ошибкам. Эти токи могут быть вызваны зарядом, накопленным в материале (остаточная поляризация), статическим, трибоэлектрическим зарядом и пьезоэлектрическими эффектами.

Метод изменения полярности напряжения позволяет практически устранить влияние паразитных токов. В этом методе к образцу или устройству сначала прикладывают напряжение положительной полярности, затем через заданное время задержки измеряют ток. После этого полярность напряжения меняют на обратную и через такое же время задержки снова измеряют ток. Процедура изменения полярности напряжения может повторяться любое число раз. Сопротивление рассчитывается исходя из средневзвешенного значения нескольких последних измерений тока.

Таблица 1

Объемное удельное сопротивление (Ом·см)	Материал	СВОЙСТВА		
		Устойчивость к поглощению влаги	Минимальные пьезоэлектрические эффекты	Минимальные трибоэлектрические эффекты
10^{16} – 10^{18} Ом	Сапфир	+	+	0
10^{17} – 10^{18} Ом	Тефлон	+	–	–
10^{14} – 10^{18} Ом	Полиэтилен	0	+	0
10^{12} – 10^{18} Ом	Полистирол	0	0	–
10^{12} – 10^{18} Ом	Kel-F [®]	+	0	–
10^{12} – 10^{14} Ом	Керамика	–	0	+
10^{12} – 10^{14} Ом	Нейлон	–	0	–
10^{10} – 10^{12} Ом	Стеклопластик	–	0	–
10^{10} – 10^{12} Ом	Поливинилхлорид (ПВХ)	+	0	0
10^5 – 10^{12} Ом	Фенопласт	–	+	+

ОБОЗНАЧЕНИЯ

- +
 - 0
 -
- Материал обладает очень хорошими характеристиками в отношении этого свойства.
Материал обладает умеренно хорошими характеристиками в отношении этого свойства.
Материал обладает плохими характеристиками в отношении этого свойства.

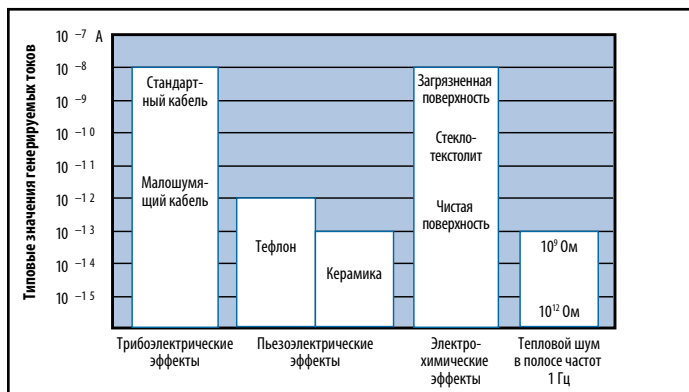


Рис. 7 Эффекты, приводящие к генерации токов

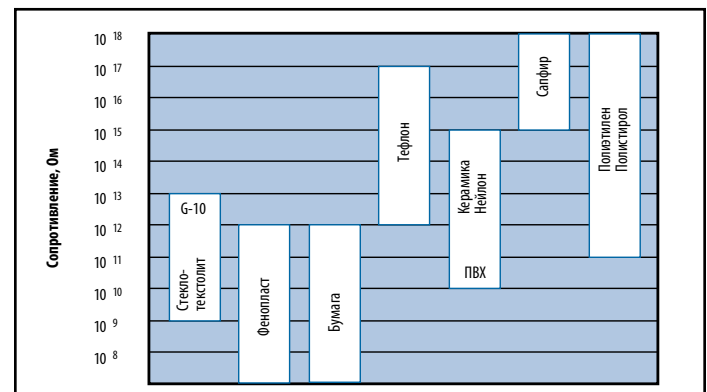


Рис. 8 Изоляторы

Измерения малых токов и больших сопротивлений

Сравнительная таблица пикоамперметров, электрометров и источников-измерителей (измерение тока)

МОДЕЛЬ	Пикоамперметры			Электрометры		Источники-измерители	
	6485	6487	2502	6514	6517B	6430	237
ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА							
От ¹	20 фА	20 фА	15 фА	< 1 фА	< 1 фА	400 аА	30 фА
До	20 мА	20 мА	20 мА	20 мА	20 мА	100 мА	100 мА
ИЗМЕРЕНИЕ НАПЯЖЕНИЯ							
От ²				10 мкВ	10 мкВ	10 мкВ	10 мкВ
До				200 В	200 В	200 В	1100 В
ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ							
От ⁵		10 Ом		10 Ом	100 Ом	100 мкОм	100 мкОм
До ⁶		1 ПОм ⁴		200 ГОм	10 ПОм ⁴	10 ПОм ⁴	1 ПОм ⁴
ИЗМЕРЕНИЕ ЗАРЯДА							
От ²				10 фКл	10 фКл		
До				20 мкКл	2 мкКл		
ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ							
Входные разъемы	BNC	Трехэлектродный триак-сигнальный	Трехэлектродный триак-сигнальный	Трехэлектродный триак-сигнальный	Трехэлектродный триак-сигнальный	Трехэлектродный триак-сигнальный	Трехэлектродный триак-сигнальный
IEEE 488	•	•	•	•	•	•	•
RS-232	•	•	•	•	•	•	•
Охранное экранирование				•	•	•	•
Соответствие CE	•	•	•	•	•	•	•
Прочее	5-½ разрядов. Автоматический выбор диапазона. 1000 отсчетов/с	5-½ разрядов. Встроенный источник 500 В. Метод изменения полярности напряжения при регистрации ВАХ высокоомных изделий	5-½ разрядов. Два канала. Встроенный источник 100 В на канал	5-½ разрядов. Заменяет модели 6512, 617-HIQ	5-½ разрядов. Встроенный источник ±1 кВ. Измерения температуры, влажности. Метод изменения полярности напряжения для измерения больших сопротивлений. Возможность установки платы коммутации. Заменяет 6517A	Источник-измеритель с выносным предусилителем для минимизации шумов	Быстродействующий источник-измеритель. 5 разрядов

1. С учетом шума
2. Предел цифрового разрешения без учета шума
3. Модель 237 измеряет сопротивления с помощью источника напряжения и измерителя тока или источника тока и измерителя напряжения, однако непосредственно не отображает их.
4. 1 ПОм (петаОм) = 10¹⁵ Ом.
5. Погрешность измерения самых малых сопротивлений не более 1%.
6. Погрешность измерения самых больших сопротивлений не более 10%.

Измерения малых токов и больших сопротивлений

Сравнительная таблица источников и источников-измерителей
(воспроизведение токов и напряжений)

МОДЕЛЬ	Источники тока		Источники напряжения	Источники-измерители	
	6220	6221	248	237	6430
Источник тока	•	•		•	•
Источник напряжения			•	•	•
Режим потребителя	•	•	•	•	•
ВЫХОДНОЙ ТОК					
Погрешность ¹	2 пА	2 пА (пост. ток) 4 пА (перем. ток)		450 фА	10 фА
Разрешение ²	100 фА	100 фА (пост. и перем. ток)		100 фА	50 аА
Максимум	±105 мА	±105 мА		±100 мА	±105 мА
ВЫХОДНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ					
От			±1,5 В	±100 мкВ	±5 мкВ
До			±5000 В	±1100 В	±210 В
ВЫХОДНАЯ МОЩНОСТЬ	11 Вт	11 Вт	25 Вт	11 Вт	2,2 Вт
ПРЕДЕЛ ПО ТОКУ			5,25 мА	от 1 пА до 100 мА	от 1 фА до 105 мА
ПРЕДЕЛ ПО НАПРЯЖЕНИЮ	105 В	105 В	от 0 до 5000 В	от 1 мВ до 1100 В	от 0,2 мВ до 210 В
ПОГРЕШНОСТЬ (± от установленного значения)					
Тока	0,05%	0,05%		0,05%	0,03%
Напряжения			0,01%	0,03%	0,02%
ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ					
Выходной разъем	Трехэлектродный триаксиальный	Трехэлектродный триаксиальный	Высоковольтный коаксиальный разъем SHV	Два трехэлектродных триаксиальных	Трехэлектродный триаксиальный
Ethernet		•			
RS-232	•	•			•
IEEE 488	•	•	•	•	•
Память	65 000 точек	65 000 точек		1000 точек	2500 точек
Дистанционное измерение				•	•
Охранное экранирование	•	•		•	•
Соответствие CE	•	•	•	•	•
Прочее	Управляет моделью 2182А для маломощных измерений тока, напряжения и сопротивления	Источник пост. и перем. тока. Генератор сигналов произвольной формы до 100 кГц. Как и 6220, управляет 2182А, возможность импульсных измерений токов и напряжений	Контролируемый выход напряжения. Программируемый предел напряжения		

1. Наименьшая абсолютная погрешность источника.

2. Разрешение для самого нижнего диапазона, т. е. наименьшее изменение тока, которое может обеспечить источник.

Измерения малых токов и больших сопротивлений



Источник-измеритель рекордно малых токов

Субфемтоамперный источник-измеритель модели 6430 с выносным предусилителем

Модель 6430 содержит источник напряжения, тока, амперметр и вольтметр. Она превосходит электрометры по чувствительности, шумовым характеристикам и входному сопротивлению. Уникальное сочетание широкой функциональности и исключительного качества измерений обеспечивается применением выносного преусилителя, оснащенного высокочувствительным двунаправленным усилителем для измерений и контроля выходного тока. Модель 6430 позволяет измерять напряжения, токи и сопротивления со скоростью, недоступной для электрометров. Она способна сохранять во внутренней памяти до 2000 результатов измеренных значений напряжения (тока) источника и тока (напряжения) на измеряемом образце. Прибор позволяет измерять ток всего за 5 мс в диапазоне 100 нА, при больших токах время измерения уменьшается до нескольких сотен микросекунд.

- Размах входного шума 0,4 фА.
- Выносной предусилитель может быть расположен непосредственно у источника сигнала для минимизации кабельных шумов.
- При измерении напряжений входное сопротивление $> 10^{16}$ Ом.
- Высокая скорость – до 2000 отсчетов в секунду.
- Разрешение до $6 \frac{1}{2}$ разрядов.
- Быстрое измерение характеристик элементов благодаря наличию программируемых цифровых входов/выходов и цифровых интерфейсов для взаимодействия с устройствами позиционирования.

В состав поставки входят:

6430-322-1В – малошумящий триаксиальный кабель
с тремя зажимами типа «крокодил», длина 20 см;

8607 – сдвоенный кабель высокого напряжения с защищенными штыревыми разъемами;

CA-176-1E – кабель предусилителя длиной 2 м;

СА-186-1В – кабель со штыревым разъемом и зажимом под винт для экранирования устройства позиционирования образца;

САР-31 – защитный колпачок для триаксиального разъема (2 шт.);

Руководство пользователя.



Задняя панель модели 6430

Измерения малых токов и больших сопротивлений

Непревзойденное средство измерения малых токов и больших сопротивлений

Электронметр-измеритель больших сопротивлений модели 6517B



- Позволяет измерять:
 - токи от 1 фА до 20 мА;
 - напряжения от 10 мкВ до 200 В;
 - сопротивления до 10^{16} Ом;
 - заряды от 10 фКл до 2 мкКл;
- Простое управление, аналогичное цифровому мультиметру.
- Падение напряжения < 20 мкВ при самых малых токах.
- Входное сопротивление 200 ТОм.
- Ток смещения < 3 фА.
- Размах входного шума 0,75 фА.
- Встроенный источник напряжения ± 1 кВ.

утечки конденсаторов и сопротивления изоляции, определения удельного поверхностного сопротивления печатных плат, зависимости сопротивления резисторов от напряжения и для измерения характеристик утечки диодов. Встроенная тестовая последовательность реализует метод изменения полярности напряжения для измерения очень больших сопротивлений, в т.ч. тех материалов и устройств, в которых из-за наличия токов утечки и внутренних источников паразитных токов точные измерения прежде были невозможны.



Платы 10-канальных мультиплексоров моделей 6521 и 6522. Устанавливаются в слот расширения модели 6517B, расположенный на задней панели, для многоканального измерения малых токов

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

- 237-ALG-2 – маломощный триаксиальный кабель, трехконтактный разъем Triax (3 зажима «крокодил», длина 2 м);
- 8607 – кабель высокого напряжения с изолированными штыревыми разъемами;
- 6517-TP – термопарный датчик типа К в форме «бусинки» (0-1250 °C);
- CS-1305 – кабель блокировки держателя образцов.



Измерения малых токов и больших сопротивлений

Качество, проверенное временем

Электронметр модели 6514

Программируемый электронметр модели 6514 — это идеальный прибор для задач, требующих быстрых, но в то же время точных измерений малых токов, зарядов, больших сопротивлений и напряжений от источников с высоким внутренним сопротивлением. Для задач, не требующих использования внешнего источника напряжения, этот прибор обеспечивает великолепную точность и скорость измерений за умеренную цену. При стоимости, сопоставимой со стоимостью многих высококачественных цифровых мультиметров, модель 6514 обладает значительно большей чувствительностью по току и обеспечивает существенно меньшее падение напряжения (всего 20 мкВ), чем высококачественные цифровые мультиметры. Выход предусилителя и аналоговый выход в диапазоне 2 В удобны при использовании внешних регистраторов, в т.ч. графических.



- Позволяет измерять:
 - токи от < 1 фА до 20 мА;
 - напряжения от 10 мкВ до 200 В;
 - заряды от 10 фКл до 20 мКл.
- Входной шум < 1 фА.
- Входное сопротивление при измерении напряжений > 200 Ом.
- Высокая скорость — до 1200 отсчетов в секунду.
- Удобство взаимодействия с внешними коммутаторами, компьютерами и манипуляторами элементов.
- Автоматическая компенсация потенциала и тока смещения.

Электронметр 6514 предназначен для выполнения быстрых измерений с высокой чувствительностью. Доступная цена делает его подходящим для широкого круга задач, связанных с измерением малых токов, таких как измерение сопротивления и токов утечки ключей, реле и других элементов. Встроенные интерфейсы IEEE-488, RS-232 и цифровые линии ввода/вывода упрощают построение полностью автоматизированных высокоскоростных систем для измерения малых сигналов. Модель 6514 обеспечивает скорость измерений до 1200 отсчетов в секунду при минимальном времени усреднения 20 отсчетов в секунду, кратном периоду напряжения питающей сети 50 Гц. Электронметр 6514 обладает разрешением 10 фА в диапазоне 2 нА, при этом время переходного процесса (по уровню 90% от установившегося значения) составляет всего 15 мс.

Амперметр на ИНУТ, используемый в модели 6514, минимизирует внутреннее падение напряжения, которое вносит ошибку при измерении малых токов. Благодаря падению напряжения не более 20 мкВ на нижнем диапазоне и входному току смещения не более 3 фА электронметр 6514 способен обеспечить превосходную точность измерения малых токов. Кроме того, в нем предусмотрена активная компенсация потенциала и тока смещения при помощи схемы охранного экранирования.

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

237-ALG-2 — малошумящий триаксиальный кабель, трехконтактный разъем Triax (3 зажима «крокодил», длина 2 м).

Если требуется измерить только ток

- Экономичное решение для измерения малых токов.
- Разрешение 10 фА.
- Разрядность $5 \frac{1}{2}$.
- Падение напряжения < 200 мкВ
- Скорость измерений до 1000 отсчетов в секунду.
- Встроенный режим эмуляции модели 485.
- Интерфейсы IEEE-488 и RS-232.
- Аналоговый выход.

Пикоамперметр модели 6485



Пикоамперметр модели 6485 с разрешением $5 \frac{1}{2}$ разрядов — это экономичный прибор, позволяющий измерять токи от 20 фА до 20 мА со скоростью до 1000 отсчетов в секунду. Разрешение 10 фА и превосходная чувствительность дают возможность изучать слаботочные процессы, а диапазон 20 мА достаточен для измерения параметров сигналов датчиков с токовым выходом 4–20 мА. Несмотря на то, что в приборе используется новейшая методика измерения тока, он существенно дешевле, чем другие приборы, выполняющие аналогичные функции, например измерители оптической мощности, пикоамперметры других производителей и пользовательские средства измерений собственной разработки. Стоимость модели 6485, сопоставимая со стоимостью цифровых мультиметров общего назначения, делает пикоамперные измерения тока доступными практически для любой лаборатории или производственного участка. Однако в отличие от цифровых мультиметров, в которых для измерения тока обычно используются амперметры по схеме ИНУН, модель 6485 представляет собой пикоамперметр на ИНУТ. Это уменьшает внутреннее падение напряжения на несколько порядков и позволяет получить величину менее 200 мкВ при самых малых токах. Такое малое внутреннее падение напряжения делает модель 6485 значительно ближе к идеальному амперметру, чем цифровые мультиметры, и позволяет с высокой точностью измерять ток даже в цепях с источниками очень малых напряжений.

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

SAP-18 — защитная крышка/колпачок для BNC-разъема (2-контактная);
4801 — малошумящий входной BNC-кабель длиной 1,2 м.

Измерения малых токов и больших сопротивлений

Пикоамперметр со встроенным источником напряжения и измерителем сопротивления

Пикоамперметр модели 6487



Пикоамперметр-источник напряжения модели 6487 имеет восемь диапазонов измерения тока и обладает высокой скоростью автоматического выбора диапазона. Он позволяет измерять токи от 20 фА до 20 мА, проводить измерения со скоростью до 1000 отсчетов в секунду и подавать на измеряемое устройство напряжение от ± 200 мкВ до ± 505 В.

Благодаря разрешению 10 фА, великолепной чувствительности, функции развертки по напряжению и возможности измерения

сопротивлений методом изменения полярности подаваемого напряжения он хорошо приспособлен для измерения

характеристик слаботочных устройств. Хотя в приборе используется

новейшая методика измерения тока, он существенно дешевле, чем другие

приборы, выполняющие аналогичные функции, например измерители оптической

мощности, тераомметры, пикоамперметры других производителей и пользовательские

средства измерений собственной разработки. Стоимость модели 6487, сопоставимая со стоимостью цифровых мультиметров общего назначения, делает пикоамперные измерения тока доступными практически для любой лаборатории или производственного участка.

Другие особенности модели 6487

- Прямое измерение сопротивлений путем измерения тока при приложении напряжения.
- Измерение сопротивлений с помощью метода изменения полярности подаваемого напряжения уменьшает погрешность измерения сопротивлений при высоком уровне шума и паразитных токов, а также расширяет диапазон измерения сопротивлений до 10^{16} Ом.
- Внутренняя защита от перегрузки до 500 В.
- Масштабируемый аналоговый выход напряжения, позволяющий считывать результаты измерений при помощи цифровых мультиметров, плат сбора данных, осциллографов и графических регистраторов.
- Выключатель дисплея при измерении светочувствительных элементов.



- Разрешение 10 фА.
- Разрядность $5 \frac{1}{2}$.
- Падение напряжения < 200 мкВ.
- Измерение сопротивлений методом изменения полярности подаваемого напряжения.
- Автоматическая развертка по напряжению для снятия вольт-амперных характеристик устройств с сопротивлением до 10^{15} Ом.
- Измерения при «плавающем» напряжении на общем электроде до 500 В.
- Скорость до 1000 отсчетов в секунду.
- Встроенный режим эмуляции моделей 486 и 487.
- Интерфейсы IEEE-488 и RS-232.
- Цифровые линии ввода/вывода.

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

CA-186-1B — заземляющий кабель (штыревой разъем — клемма «под винт»);

CAP-31 — защитная крышка-колпачок для триаксиального разъема;

CS-459 — кабель защитной блокировки;

7078-TRX-3 — малошумящий триаксиальный входной кабель длиной 1 м;

8607 — кабель высокого напряжения с изолированными штыревыми разъемами.

Два пикоамперметра 6487 в одном корпусе со специальными функциями для оптических измерений



Двухканальный пикоамперметр модели 2502

Модель 2502 вобрала в себя многолетний опыт компании Keithley по измерению малых токов и выполнению высокоскоростных измерений и тестирования. Каждый из двух каналов оснащен отдельным пикоамперметром и отдельным источником напряжения, что позволяет проводить одновременные двухканальные

измерения. Кроме того, модель 2502 обеспечивает самую высокую на сегодняшний день скорость измерения световых и вольт-амперных характеристик (LIV) лазерных диодных модулей (LDM). Прибор оснащен высокоскоростным аналоговым выходом, который позволяет использовать систему на стадии юстировки оптоволоконного ввода в процессе изготовления LDM. Надежная конструкция прибора удовлетворяет требованиям стабильности и повторяемости результатов, предъявляемым при непрерывной работе в условиях круглосуточного производства.

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

руководство по эксплуатации.

- Разрядность $6 \frac{1}{2}$.
- Два канала.
- Скорость до 900 отсчетов в секунду по каждому каналу.
- Встроенный источник 100 В для каждого канала.
- Буферная память 3000 точек на канал.
- Интерфейсы IEEE-488 и RS-232.
- Цифровые линии ввода/вывода.
- Триггерный интерфейс.

Измерения малых токов и больших сопротивлений

Исключительная точность измерения и воспроизведения малых токов

Источник-измеритель модели 237



Источник-измеритель модели 237 — это полностью программируемый прибор, позволяющий одновременно воспроизводить и измерять ток или напряжение. Этот прибор фактически содержит четыре прибора: источник напряжения, источник тока, измеритель напряжения и измеритель тока и предназначен для широкого круга задач, в том числе для измерения характеристик полупроводниковых приборов, токов утечки и сопротивления изоляции. Модель 237 особенно удобна для использования в качестве источника и измерительного прибора в составе автоматизированных измерительных комплексов (ATE).

Модель 237 способна воспроизводить напряжение от 100 мкВ до 1100 В и измерять напряжения от 10 мкВ до 1100 В и токи от 10 фА до 100 мА.

Модель 237 может быть запрограммирована для проведения измерений в зависимости от ступенчато изменяющегося напряжения или тока. Развертка по напряжению или току может быть линейной, логарифмической или импульсной.

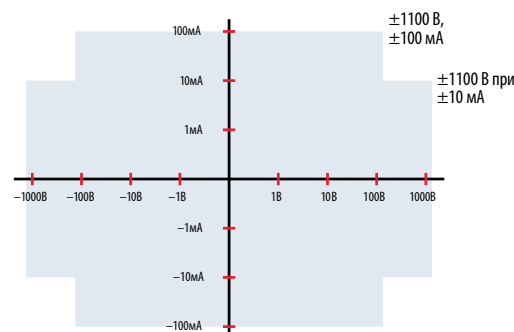
Триаксиальные входы и выходы модели 237 полностью подключены к схеме охранного экранирования (guarding) для минимизации токов утечки и сконфигурированы для измерений по четырехпроводной схеме. В более простых случаях возможно использование двухпроводной схемы подключения. Все выходы могут иметь потенциал общего электрода относительно земли до ± 200 В.

- Реализует 4 функции (источник напряжения, измеритель напряжения, источник тока, измеритель тока).
- Чувствительность измерений 10 фА, 10 мкВ.
- Источник и измеритель напряжений до 1100 В.
- Стандартные и пользовательские развертки напряжения или тока, в том числе в импульсном режиме.
- Скорость до 1000 отсчетов в секунду (воспроизведение-измерение).
- Работа источника в четырех квадрантах диаграммы ток-напряжение.
- Внутренняя память на 1000 отсчетов.

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

- 7078-TRX-10 — малозумящий триаксиальный кабель длиной 3 м (2 шт.);
- 236-ILC-3 — кабель блокировки длиной 3 м;
- 237-ALG-2 — малозумящий триаксиальный кабель длиной 2 м с тремя зажимами типа «крокодил».

Характеристики источника модели 237



Полнофункциональный генератор сигналов произвольной формы со стандартными интерфейсами LXI, GPIB и USB

Генератор сигналов произвольной формы и функциональный генератор модели 3390



В модели 3390 компании Keithley сочетаются высокое качество, широкий набор функций и минимальная цена для аппаратуры данного класса. Модель 3390 – это программируемый генератор напряжения с расширенными возможностями формирования функций, импульсов и сигналов произвольной формы. Он обеспечивает получение высококачественных сигналов с малым временем нарастания и спада при низком уровне шума. Генератор 3390 имеет в четыре раза больший объем памяти для хранения формы сигналов, чем любой другой генератор подобного класса. Модель 3390 – это универсальный, полнофункциональный, высокоскоростной и удобный в эксплуатации генератор сигналов произвольной формы в полосе частот до 50 МГц.

- Максимальная частота гармонического сигнала 50 МГц.
- Частота импульсов до 25 МГц.
- Генератор сигналов произвольной формы, 256 000 отсчетов, разрядность 14 бит.
- Встроенные функции: синус, меандр, треугольный сигнал, шум, постоянное смещение и др.
- Одиночные импульсы и меандр с малым временем нарастания и спада (5 нс).
- Встроенный синхрогенератор 10 МГц для синхронизации нескольких модулей.
- Встроенные виды модуляции: амплитудная (AM), частотная (FM), фазовая (PM), фазовая манипуляция (FSK), широтно-импульсная (PWM).

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

программное обеспечение KiWAVE для создания сигналов различной формы;
 USB-кабель (USB-B-1);
 кабель генератора импульсных последовательностей (005-003-00003);
 кросс-кабель Ethernet (CA-180-3);
 CD-ROM с Руководством по эксплуатации.

Возможности формирования:

- сигналов произвольной формы;
- функций;
- импульсов;
- модулированных сигналов;
- шума;
- последовательностей импульсов.

Краткие технические характеристики модели 3390

ДИСПЛЕЙ: графический режим для визуального контроля параметров.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ:

Стандартные сигналы: синусоидальный, прямоугольный, пилообразный, треугольной формы, импульсный, шумовой, постоянное смещение.

Встроенные сигналы произвольной формы: экспоненциальное нарастание и спад, обратный пилообразный сигнал, $\sin(x)/x$, кардиоида.

Характеристики сигналов

ГАРМОНИЧЕСКИЙ СИГНАЛ

ЧАСТОТА: от 1 мГц до 50 МГц.

НЕРАВНОМЕРНОСТЬ АМПЛИТУДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ: 0,1 дБ (< 100 кГц)
(по отношению к 1 кГц) 0,15 дБ (< 5 МГц)
0,3 дБ (< 20 МГц)
0,5 дБ (< 50 МГц).

ГАРМОНИЧЕСКИЕ ИСКАЖЕНИЯ (дБн)

от 0 до 20 кГц: –65 (< 1 В размах); –65 (≥ 1 В размах)
от 20 кГц до 100 кГц: –65 (< 1 В размах); –60 (≥ 1 В размах)
от 100 кГц до 1 МГц: –50 (< 1 В размах); –45 (≥ 1 В размах)
от 1 МГц до 20 МГц: –40 (< 1 В размах); –35 (≥ 1 В размах)
от 20 МГц до 50 МГц: –30 (< 1 В размах); –30 (≥ 1 В размах)

КОЭФФИЦИЕНТ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ ТНД:

от 0 до 20 кГц, $V \geq 0,5$ В (размах), ТНД ≤ 0,06% (тип.).

ПОБОЧНЫЕ ИЗЛУЧЕНИЯ (кроме гармоник):

от 0 до 1 МГц – –70 дБн.
от 1 МГц до 50 МГц: –70 дБн + 6 дБ/октаву.

ФАЗОВЫЙ ШУМ (смещение 10 кГц): –115 дБн/Гц, тип. значение при $f \geq 1$ МГц, $V \geq 0,1$ В (размах).

МЕАНДР

ЧАСТОТА: от 1 мГц до 25 МГц.

ВРЕМЕНА НАРАСТАНИЯ И СПАДА: < 10 нс

ВЫБРОС: < 2%.

ИЗМЕНЯЕМЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ЗАПОЛНЕНИЯ: от 20% до 80%
(до 10 МГц), от 40% до 60% (до 25 МГц).

НЕСИММЕТРИЧНОСТЬ: 1% от периода + 5 нс (при коэффициенте заполнения 50%).

ДЖИТТЕР (СРЕДНЕКВАДРАТИЧ.): 1 нс + 100 ppm от периода (100 ppm = 0,01%).

СИГНАЛЫ ПИЛООБРАЗНОЙ И ТРЕУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ

ЧАСТОТА: от 1 мГц до 200 кГц.

ЛИНЕЙНОСТЬ: < 0,1% при макс. сигнале.

СИММЕТРИЧНОСТЬ: от 0,0% до 100,0%.

ИМПУЛЬСЫ

ЧАСТОТА: от 500 мГц до 10 МГц.

ШИРИНА ИМПУЛЬСА: мин. 20 нс, разрешение 10 нс (период ≤ 10 с).

ИЗМЕНЯЕМАЯ ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ФРОНТА: от < 10 нс до 100 нс.

ВЫБРОС: < 2%.

ДЖИТТЕР (СРЕДНЕКВАДРАТИЧ.): 300 пс + 0,1 ppm от периода.

ШУМ

ПОЛОСА ЧАСТОТ: 20 МГц (тип.).

СИГНАЛЫ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ

ЧАСТОТА: от 1 мГц до 10 МГц.

ДЛИНА: от 2 до 256 000 точек.

РАЗРЕШЕНИЕ: 14 бит (включая знак).

ЧАСТОТА ДИСКРЕТИЗАЦИИ: 125 млн. отсчетов/с

МИН. ВРЕМЕНА НАРАСТАНИЯ И СПАДА: 30 нс (тип.).

ЛИНЕЙНОСТЬ: < 0,1% при макс. сигнале.

ВРЕМЯ УСТАНОВЛЕНИЯ: < 250 нс, до 0,5% от заданного значения.

ДЖИТТЕР (СРЕДНЕКВАДРАТИЧ.): 6 нс + 30 ppm

ЭНЕРГОНЕЗАВИСИМАЯ ПАМЯТЬ: 4 сигнала по 256 000 точек.

ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

РАЗРЕШЕНИЕ ПО ЧАСТОТЕ: 1 мГц.

ДИАПАЗОН АМПЛИТУД: от 10 мВ (размах) до 10 В (размах) для 50 Ом.

от 20 мВ (размах) до 20 В (размах) для большого сопротивления.

ПОГРЕШНОСТЬ АМПЛИТУДЫ (на частоте 1 кГц): ±1% от установки ± 1 мВ (размах)

ЕДИНИЦЫ АМПЛИТУДЫ: В (размах), В (среднеквадратич.), дБм.

РАЗРЕШЕНИЕ ПО АМПЛИТУДЕ: 4 разряда.

ДИАПАЗОН ПОСТОЯННОГО СМЕЩЕНИЯ (пиковое значение переменного сигнала + постоянное смещение): ±5 В для 50 Ом,

± 10 В для большого сопротивления.

ПОГРЕШНОСТЬ ПОСТ. СМЕЩЕНИЯ: ±2% от установленного значения смещения, ± 0,5% от установленного значения амплитуды.

РАЗРЕШЕНИЕ ПОСТ. СМЕЩЕНИЯ: 4 разряда.

ИМПЕДАНС ОСНОВНОГО ВЫХОДА: 50 Ом (тип.).

ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ОСНОВНОГО ВЫХОДА: 42 В (пик.) относительно земли.

ЗАЩИТА ОСНОВНОГО ВЫХОДА: защита от короткого замыкания; при перегрузке основной выход автоматически отключается.

ПОГРЕШНОСТЬ ВНУТРЕННЕГО ГЕНЕРАТОРА ОПОРНОЙ ЧАСТОТЫ:

±10 ppm за 90 дней, ±20 ppm за год.

ВЫХОД ВСТРОЕННОГО ГЕНЕРАТОРА ОПОРНОЙ ЧАСТОТЫ: имеется

ВХОД ВНЕШНЕЙ ОПОРНОЙ ЧАСТОТЫ:

Полоса захвата: 10 МГц ± 500 Гц.

Уровень: от 100 мВ (размах) до 5 В (размах)

Импеданс: 1 кОм (тип.), разделительный конденсатор

Время синхронизации: < 2 секунд.

ДИАПАЗОН ЧАСТОТЫ ВНЕШНЕЙ СИНХРОНИЗАЦИИ: 10 МГц.

ВЫХОД ЧАСТОТЫ:

Уровень: тип. 632 мВ (размах, 0 дБм).

Импеданс: тип. 50 Ом, разделительный конденсатор.

СДВИГ ФАЗЫ:

Диапазон: от –360° до +360°.

Разрешение: 0,001°.

Погрешность: 8 нс

МОДУЛЯЦИЯ

ВИД МОДУЛЯЦИИ: амплитудная (AM), частотная (FM), фазовая (PM), фазовая манипуляция (FSK), широтно-импульсная (PWM), развертка (SWEEP) и пакетный импульсный режим (BURST).

АМ

НЕСУЩАЯ: синусоидальная, прямоугольная, пилообразная, произвольной формы.

ИСТОЧНИК: внутренний или внешний.

ВНУТРЕННЯЯ МОДУЛЯЦИЯ: синусоидальная, прямоугольная, пилообразная, треугольная, шум, произвольной формы.

ЧАСТОТА (внутренней модуляции): от 2 мГц до 20 кГц.

ГЛУБИНА: от 0,0% до 120,0%.

FM

НЕСУЩАЯ: синусоидальная, прямоугольная, пилообразная, произвольной формы.

ИСТОЧНИК: внутренний или внешний.

ВНУТРЕННЯЯ МОДУЛЯЦИЯ: синусоидальная, прямоугольная, пилообразная, треугольная, шум, произвольной формы.

ЧАСТОТА (внутренней модуляции): от 2 мГц до 20 кГц.

ДЕВИАЦИЯ: от 0 до 25 МГц.

PM

НЕСУЩАЯ: синусоидальная, прямоугольная, пилообразная, произвольной формы.

ИСТОЧНИК: внутренний или внешний.

ВНУТРЕННЯЯ МОДУЛЯЦИЯ: синусоидальная, прямоугольная, пилообразная, треугольная, шум, произвольной формы.

ЧАСТОТА (внутренней модуляции): от 2 мГц до 20 кГц.

ДЕВИАЦИЯ: от –0,0° до 360°.

PWM

НЕСУЩАЯ: импульсы.

ИСТОЧНИК: внутренний или внешний.

ВНУТРЕННЯЯ МОДУЛЯЦИЯ: синусоидальная, прямоугольная, пилообразная, треугольная, шум, произвольной формы.

ЧАСТОТА (внутренней модуляции): от 2 мГц до 20 кГц.

ДЕВИАЦИЯ: от 0% до 100% от ширины импульса.

FSK

НЕСУЩАЯ: синусоидальная, прямоугольная, пилообразная, произвольной формы.

ИСТОЧНИК: внутренний или внешний.

ВНУТРЕННЯЯ МОДУЛЯЦИЯ: меандр с коэффициентом заполнения 50%.

ЧАСТОТА (внутренней модуляции): от 2 мГц до 100 кГц.

ВХОД ВНЕШНЕЙ МОДУЛЯЦИИ

ДИАПАЗОН НАПРЯЖЕНИЯ: ±5 В (полная шкала).

ВХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ: 8,7 кОм (тип.).

ПОЛОСА ЧАСТОТ: от 0 до 20 кГц.

РАЗВЕРТКА

ФОРМА СИГНАЛА: синусоидальная, прямоугольная, пилообразная, произвольной формы.

ТИП: линейная или логарифмическая.

НАПРАВЛЕНИЕ: вверх или вниз

ВРЕМЯ РАЗВЕРТКИ: от 1 мс до 500 с.

ЗАПУСК: внутренний, внешний или ручной.

МАРКЕР: задний фронт импульса синхронизации (частота программируется).

ПАКЕТНЫЙ СИГНАЛ

ФОРМА СИГНАЛА: синусоидальная, прямоугольная, пилообразная, треугольная, шум, произвольной формы.

ТИП: внутренний или внешний.

ФАЗА НАЧАЛА/ОКОНЧАНИЯ: –от –360° до 360°.

ВНУТРЕННИЙ ПЕРИОД: от 1 мкс до 500 с.

УПРАВЛЯЕМЫЙ ИСТОЧНИК: внешний триггерный.

СИГНАЛ ЗАПУСКА: внутренний, внешний или ручной.

ВХОД СИГНАЛА ЗАПУСКА

УРОВЕНЬ: TTL-совместимый.

ФРОНТ: передний или задний (выбирается).

ШИРИНА ИМПУЛЬСА: > 100 нс.

ИМПЕДАНС: > 10 кОм, разделительный конденсатор

ЗАДЕРЖКА: < 500 нс

ВЫХОД СИГНАЛА ЗАПУСКА

УРОВЕНЬ: TTL-совместимый на нагрузку ≥ 1 кОм.

ШИРИНА ИМПУЛЬСА: > 400 нс.

ВЫХОДНОЙ ИМПЕДАНС: 50 Ом (тип.).

МАКС. ЧАСТОТА ПОВТОРЕНИЯ: 1 МГц.

НАГРУЗОЧНАЯ СПОСОБНОСТЬ: до 4 приборов Keithley модели 3390

РЕЖИМ ГЕНЕРАТОРА СИГНАЛОВ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ

МАКС. ТАКТОВАЯ ЧАСТОТА: 50 МГц.

ВЫХОД: уровень: TTL-совместимый на нагрузку ≥ 2 кОм.

Выходное сопротивление: 110 Ом (тип.).

ДЛИНА СИГНАЛА: от 2 до 256 000 точек.

ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ПИТАНИЕ: КАТ. II, переменное напряжение 110 В –240 В ±10%.

ЧАСТОТА ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ: от 50 Гц до 60 Гц.

МОЩНОСТЬ: 50 ВА макс.

УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ: от 0 до 50 °С.

ДИАПАЗОН ТЕМПЕРАТУР ХРАНЕНИЯ: от –30 °С до 70 °С.

ИНТЕРФЕЙСЫ: USB, LAN, LXI-C, GPIB.

ЯЗЫК КОМАНД: SCPI-1993, IEEE-488.2.

РАЗМЕРЫ (высота x ширина x длина): 107x224x380 мм.

МАССА: 4,08 кг

БЕЗОПАСНОСТЬ: в соответствии с Директивами Евросоюза

73/23/ЕЕС, EN 61010-1.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ: в соответствии

с Директивами Евросоюза

89/336/ЕЕС, EN 61326-1.

ПРОГРЕВ: 1 час.

Коммутация и управление

Широкий ассортимент аппаратуры компании Keithley для коммутации сигналов позволяет легко найти решение практически для любой задачи. Опыт работы компании Keithley со слабыми сигналами гарантирует высочайшее качество многоканальной коммутации измерительных цепей.

- 60 **Техническая информация**
- 62 **Сравнительная таблица систем коммутации**
- 63 **Коммутация измерительных каналов с возможностью одновременных измерений высококачественным цифровым мультиметром**
Система коммутации со встроенным цифровым мультиметром эталонного класса серии 3700A
- 63 **Коммутационные платы серии 3700A**
- 64 **Широкий диапазон возможностей коммутации сигналов в компактном корпусе**
80-канальная система коммутации и управления 7001
- 65 **Широкофункциональная система коммутации для средних и крупных комплексов автоматизированной измерительной аппаратуры**
400-канальная система коммутации и управления 7002
- 66 **Коммутационные платы для систем 7001 и 7002**
- 68 **Коммутация с рекордно малыми токами утечки и контактными потенциалами**
Системы коммутации моделей 707B и 708B для полупроводниковых технологий
- 68 **Платы коммутации для систем 707B и 708B**
- 69 **Эталон универсальных коммутаторов радиочастотных и СВЧ-сигналов**
Системы 46 и 46T для коммутации радиочастотных и СВЧ-сигналов

Техническая информация

Для достижения требуемой точности измерительной системы необходим выбор соответствующих средств измерения, творческий подход к использованию и реализации методов тестирования и изучение технических спецификаций и возможных источников ошибок. Поскольку большинство измерительных систем достаточно сложны, требуется свести к минимуму число неконтролируемых параметров. Для этого необходимо владеть точными техническими спецификациями используемых средств коммутации.

Особое внимание следует уделять измерениям, выполняемым вблизи пределов точности, разрешения или чувствительности измерительных приборов или источников. Такие измерения обычно предъявляют наиболее жесткие требования, в том числе и к средствам коммутации сигналов. Система, спроектированная с учетом таких требований, как правило, может использоваться для проведения и других измерений.

Как определить параметры системы коммутации для моей задачи?

Независимо от того, кто будет выбирать систему коммутации — пользователь или специалисты по применению аппаратуры компании Keithley — следует определить требования к проектируемой системе тестирования и продумать схему соединений.

Требования к системе тестирования включают в себя:

- параметры измерений (список видов измерений с указанием требуемой точности);
- список необходимых источников тока и(или) напряжения;
- число выводов тестируемого устройства и количество подключаемых приборов;
- характеристики сигналов (виды сигналов, ожидаемые значения и диапазоны частот) и требования к сопротивлениям компонентов измерительной системы;
- быстродействие;
- условия окружающей среды (температура, влажность и т.п.);
- список внешних интерфейсов (GPIB, RS-232, USB, Ethernet).

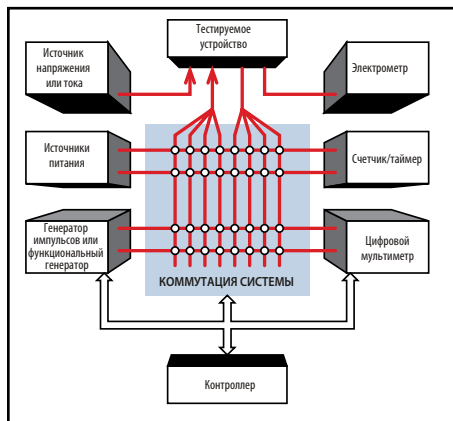


Рис. 1. Состав универсальной системы тестирования

Затем следует сделать эскиз схемы соединений. Зная число выводов каждого устройства и количество приборов (источников и измерителей), надо показать типы коммутационных элементов и их конфигурации. Скорее всего, создание эскиза потребует последовательных приближений по мере рассмотрения имеющихся в наличии средств коммутации.

После этой подготовительной работы можно выбрать средства коммутации, в частности:

- конфигурацию системы коммутации и коммутационных плат;
- систему коммутации;
- источники и средства измерения;
- кабели и другие принадлежности;
- предохранители, ограничительные резисторы, диоды и др.;
- после этого необходимо определить источники погрешностей и сравнить их с требуемой точностью измерений.

Конфигурации коммутаторов

Имеющиеся виды и размеры коммутационных элементов определяют эффективность окончательной схемы коммутации, в том числе количество кабелей и сложность схемы соединений. Любая коммутационная система состоит из основных, или базовых, блоков. Ниже показаны примеры применения основных типов коммутационных элементов.

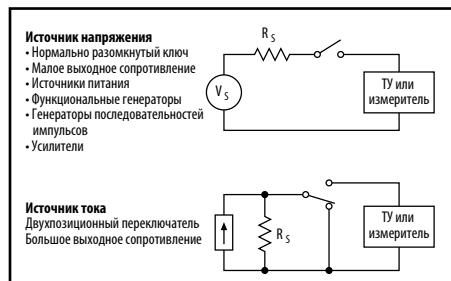


Рис. 2. Примеры конфигураций коммутационных элементов

Конфигурация коммутационного элемента описывается электрическими параметрами, механической конструкцией или выполняемой функцией (рис. 2). Такое описание сигнальных путей, или электрических соединений, необходимо для подготовки кабелей и монтажа системы тестирования.

Коммутационная матрица (рис. 3) представляет собой наиболее универсальный тип системы коммутации. Прежде всего, не следует путать систему коммутации (switch matrix, или mainframe) с коммутационной матрицей (matrix switch). Коммутационная матрица позволяет подключить любой вход к любому выходу поодиночке или в сочетании с другими. Это позволяет сократить до минимума число внешних соединений и упрощает подключение тестируемого устройства. Хотя коммутационная матрица подойдет практически для любой задачи, она не всегда является наилучшим видом схемы коммутации.

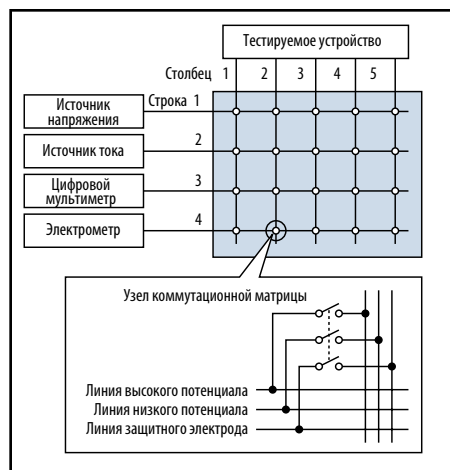


Рис. 3. Коммутационная матрица

Рассмотрим пример, в котором необходимо подключить четыре различных измерительных прибора к десяти контрольным точкам тестируемого устройства. Если требуется обеспечить возможность в любой момент времени подключить любую комбинацию приборов к любой комбинации контрольных точек, тогда действительно следует использовать коммутационную матрицу. Однако если необходимо в любой момент времени подключать только один прибор к одной контрольной точке, то для такого соединения можно использовать сочетание мультиплексора «4 входа и 1 выход» с мультиплексором «1 вход и 10 выходов» (здесь и далее для удобства объяснения и с учетом возможности двунаправленной передачи сигналов вместо термина «демультиплексор» будет использоваться термин «мультиплексор»). В такой схеме с мультиплексорами используются 14 коммутационных элементов, в то время как в полной матрице — 40. При использовании для такой задачи коммутационной матрицы пришлось бы заплатить за 26 лишних коммутационных элементов, без которых можно было бы обойтись. Таким образом, тщательная проработка последовательности измерений и схемы соединений приводит к созданию более компактной и экономичной системы коммутации.

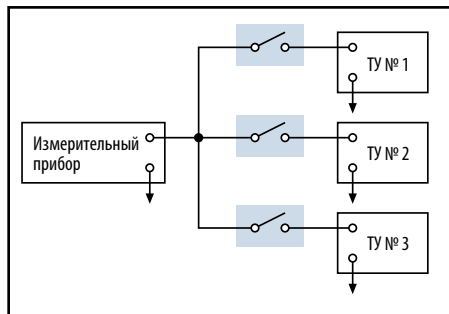


Рис. 4. Мультиплексор

Мультиплексор (рис. 4) подключает один прибор к нескольким тестируемым устройствам или нескольким приборам

к одному тестируемому устройству. Мультиплексор оказывается полезным в сочетании с коммутационной матрицей или в других конфигурациях для расширения возможностей схемы коммутации посредством объединения электрических цепей, а также с целью обеспечения дополнительной изоляции, снижения перекрестных помех между каналами и для создания специальных конфигураций.

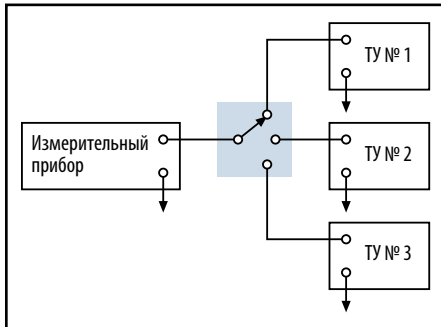


Рис. 5. Сканирующий переключатель

Сканирующий переключатель (рис. 5) — это разновидность мультиплексора, который замыкает контакты последовательно, друг за другом, иногда с возможностью пропускать некоторые каналы.

Изолированные переключатели состоят из отдельных не связанных между собой реле, часто с несколькими группами контактов. Изолированные переключатели не подключены ни к какой другой цепи, поэтому они с помощью дополнительных соединений позволяют создавать очень гибкие и уникальные сочетания конфигураций входов и выходов. Этот тип переключателей может оказаться полезным для создания дополнительной изоляции между цепями, обеспечения защитной блокировки, приведения в действие других переключателей или электрических цепей или для построения специальных топологий, таких как бинарные лестничные или древовидные структуры.

Электрические параметры

Электрические параметры коммутационных плат вносят существенный вклад в общие характеристики измерительной системы и в обеспечение целостности сигналов в ней. Чтобы достичь высокой точности, разрешения и чувствительности, а также для маршрутизации высокочастотных сигналов, больших токов и высоких напряжений с минимальными искажениями тестового сигнала, необходимо знать электрические параметры коммутационной платы. Необходимо сопоставить критичные требования к системе тестирования с параметрами системы коммутации, указанными в спецификации. Если требуется измерять напряжение величиной один вольт относительно опорного уровня один микровольт, следует убедиться в том, что контактная разность потенциалов коммутационных элементов не составляет нескольких сотен микровольт. Если требуется коммутировать напряжение источника питания, надо убедиться в том, что коммутационные элементы способны выдерживать достаточный ток. При измерении сопротивлений порядка одного кОм и ниже следует убедиться в том, что система коммутации обеспечивает подключение по четырехпроводной схеме.

Технические характеристики коммутационной платы определяют параметры только самой платы. При соединении нескольких плат вместе результирующие эксплуата-

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	ИМЕЕТ ЗНАЧЕНИЕ
Контактная разность потенциалов (ограничивает возможность коммутации низковольтных сигналов)	При точном измерении сигналов напряжением менее 1 В, в частности, при разностных измерениях относительно опорного уровня, измерениях дрейфа и измерениях температурного коэффициента.
Ток смещения (ограничивает возможность коммутации слаботочных сигналов)	При измерении сигналов с током менее 1 мА, в частности, измерениях вольтамперных характеристик полупроводников и сопротивления изоляции.
Характеристическое сопротивление	Для сохранения целостности сигналов при коммутации радиочастотных сигналов.
Компенсация температуры «холодного» спая термопары	При точных измерениях с помощью термопар.
Четырехпроводная схема подключения (автоматическое попарное объединение каналов для упрощения коммутации питающих и измерительных цепей)	При точном измерении сопротивлений менее 1 кОм и коммутации источников напряжения с контролем напряжения на нагрузке.
Максимальный ток	При коммутации источников питания и электрических цепей большой мощности.
Максимальное напряжение	При тестировании изоляции и проверке параметров электробезопасности высоковольтных систем.
Максимальная мощность	При определении максимального тока и (или) максимального напряжения, которые способен переключать коммутационный элемент без повреждения печатной платы или реле.
Срок службы коммутационного элемента	Для определения среднего времени наработки на отказ; определяет максимальное число переключений, которое предположительно может быть выполнено при коммутации под нагрузкой или без нее.

Рис. 6. Электрические характеристики коммутационных элементов

ционные параметры, такие как ток смещения и вносимые потери, будут определяться всей системой, а не только данной платой.

Каждая дополнительная коммутационная плата и соединительный кабель несколько ухудшают параметры системы. Для некоторых задач необходимо характеризовать всю систему в целом, включая коммутационные элементы.

На рис. 6 приведены несколько электрических характеристик и области их применения для улучшения эксплуатационных параметров системы. Имеется много других характеристик, которые необходимо учитывать, в зависимости от типа и уровня коммутируемого сигнала и ожидаемых параметров системы тестирования. Сравнительная таблица коммутационных элементов группирует коммутационные платы по их основным параметрам. Многие средства коммутации попадают в несколько категорий, поэтому перед принятием окончательного решения следует внимательно ознакомиться со всеми характеристиками коммутационных плат. Более подробное обсуждение технических характеристик коммутаторов и их влияние на качество измерений можно найти в справочнике компании Keithley «Keithley's Switching Handbook».

Функциональные возможности базовых блоков

Базовые блоки систем коммутации проектируются в соответствии с масштабами системы и создают аппаратную и программную среду для коммутационных плат Keithley. Модель 3706A оснащена шестью слотами расширения и имеет корпус высотой 2U для установки в аппаратную стойку. Она совместима с растущим семейством высокоскоростных коммутационных плат с высокой плотностью расположения коммутационных элементов. Для более широких диапазонов сигналов выпускаются базовые блоки 7001 (с двумя слотами) и 7002 (с десятью слотами), которые совместимы в общей сложности с более чем 30 видами коммутационных плат.

Для задач тестирования полупроводников с низкими уровнями сигналов выпускаются базовые блоки 707B (с шестью слотами) и 708B (с одним слотом), которые совместимы с шестью специализированными платами с высокой плотно-

стью расположения коммутационных элементов, включая высокоскоростные платы коммутационных матриц с малыми токами утечки.

Плотность расположения коммутационных элементов

Системы Keithley, имеющие большое количество каналов, упрощают задачи коммутации за счет минимизации числа необходимых базовых блоков и коммутационных плат. Модель 3706A является системой коммутации с наибольшей плотностью размещения коммутационных элементов и позволяет разместить в стандартном 2U-корпусе под 19"-стойку до 576 двухпроводных каналов мультиплексора. Модель 7001 при вдвое меньшей ширине способна вместить до 80 двухпроводных каналов, а модель 7002 с десятью слотами — до 400 двухпроводных каналов. Модель 707B способна вместить до 576 каналов или узлов коммутационной матрицы, а модель 708B — до 96 каналов или узлов. Платы, имеющие высокую плотность размещения элементов, спроектированы с учетом простоты подключения кабелей.

Состояние каналов

Серия 3700A, соответствующая требованиям стандарта LXI, класс В, имеет тщательно продуманный интерфейс на основе встроенного веб-браузера, обеспечивающего интуитивно понятное управление методом «укажи и выбери» и мониторинг состояния всех коммутационных элементов. Базовые блоки 7001, 7002, и 707B, 708B обеспечивают визуальное отображение состояния каждого коммутационного элемента на передней панели.

Дополнительные возможности

Базовые блоки 3706A, 7001, 7002 и 707B имеют дополнительную соединительную панель для соединения коммутационных плат между собой при сложных конфигурациях, требующих использования нескольких плат. Эта соединительная панель устраняет необходимость установки внутренних соединений между платами и увеличивает гибкость конфигурации.

Сравнительная таблица базовых блоков систем коммутации

	Системы коммутации и управления для автоматизированной измерительной аппаратуры (ATE)			Системы коммутации для тестирования полупроводниковых устройств	
Номер модели	3706A	7001	7002	707B	708B
Кол-во слотов для плат (модулей)	6	2	10	6	1
Макс. число каналов или узлов коммутации в корпусе	до 576	до 80	до 400	до 376	до 96
Взаимодействие нескольких базовых блоков	При помощи интерфейса TSP-Link	При помощи триггерных линий	При помощи триггерных линий	До 5 блоков (2880 каналов) в конфигурации ведущий/ведомый	До 5 блоков (480 каналов) в конфигурации ведущий/ведомый
Ассортимент плат коммутации и управления	9	Более 30	Более 30	4	4
Передняя панель	Полнофункциональный дисплей с возможностью интерактивного программирования	Полнофункциональный дисплей с программным управлением	Полнофункциональный дисплей с возможностью интерактивного программирования	Полнофункциональный дисплей с возможностью интерактивного программирования	Полнофункциональный дисплей с возможностью интерактивного программирования
Встроенные цифровые ТТЛ-линии ввода-вывода	14 (ввод), 14 (вывод)	1 (ввод), 4 (вывод)	1 (ввод), 4 (вывод)	8 (ввод), 8 (вывод)	16 (ввод), 16 (вывод)
Шина IEEE-488	Да	Да	Да	Да	Да
USB		Да			

Платы коммутации и управления

Постоянные сигналы	Напряжения и токи (общее назначение)	•	•	•	•	•
	Малые токи		•	•	•	•
	Малые напряжения		•	•		
	Большие токи		•	•		
	Высокие напряжения		•	•	•	•
Радиочастотные сигналы			•	•	•	•
Оптические сигналы			•	•		

Коммутация измерительных каналов с возможностью одновременных измерений высококачественным цифровым мультиметром

Система коммутации со встроенным цифровой мультиметром эталонного класса серии 3700A



- Имеет шесть слотов расширения для коммутационных модулей и возможность установки встроенного высококачественного мультиметра.
- Многопроцессорная архитектура оптимизирована для скоростного сканирования каналов и автоматического переключения по запрограммированным схемам.
- Дистанционное управление от компьютера через интерфейсы Ethernet, USB и GPIB
- До 576 двухпроводных или до 720 однопроводных мультиплексных каналов в одном корпусе.
- Соответствует стандарту LXI, класс В, с синхронизацией согласно IEEE 1588.

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

CD с программным обеспечением для создания сценариев тестирования Test Script Builder;
кросс-кабель Ethernet (CA-180-3A);
CD с документацией на серию 3700A и драйверами для LabView®, IVI C и IVI.COM).

Изделия серии 3700A являются масштабируемыми многоканальными средствами коммутации и измерения эталонного класса. Они оптимизированы для автоматизированного тестирования электронных изделий и компонентов. Приобретая систему коммутации со встроенным высококачественным мультиметром, пользователь получает хорошо интегрированную систему для коммутации и измерений, соответствующую требованиям сложных задач функционального тестирования и обеспечивающую универсальность, необходимую для автономного сбора данных и измерений.

Встроенный высококачественный мультиметр (заказывается дополнительно) обеспечивает проведение измерений с малым уровнем шума и разрешением от $3\frac{1}{2}$ до $7\frac{1}{2}$ разрядов в соответствии с требованиями самых современных технологий. Возможность регулировки разрешения позволяет задавать скорость измерения параметров постоянных сигналов до 14 000 отсчетов в секунду при разрешении $3\frac{1}{2}$ разрядов и до 60 отсчетов в секунду при разрешении $7\frac{1}{2}$ разрядов, что позволяет достигать максимальной производительности, или предельной точности измерений. Также мультиметр имеет расширенный диапазон измерения малых сопротивлений (1 Ом), малых токов (10 мкА) и функцию измерения сопротивлений от 1 Ом до 2 кОм с ограничением тока и напряжения на нагрузке («dry circuit»), что расширяет его возможности по сравнению с обычными цифровыми мультиметрами.

Коммутационные платы серии 3700A

Код модели	Кол-во каналов	Конфигурация платы	Описание реле	Тип реле	Макс. напряжение	Макс. коммутируемый ток	Комментарии
3720	60 2-проводных (2 1x30)	Мультиплексор	Электромеханическое с фиксацией	2-полюсное нормально разомкнутое	300 В	1 А	2 независимых мультиплексора 1x30. Автоматическая компенсация температуры «холодного» спая при использовании винтового клеммника модели 3720-ST
3721	40 2-проводных (два 1x20)	Мультиплексор	Электромеханическое с фиксацией	2-полюсное нормально разомкнутое	300 В (каналы 1–40), 60 В (каналы 41–42)	2 А (каналы 1–40), 3 А (каналы 41–42)	2 независимых мультиплексора 1x20. Автоматическая компенсация температуры «холодного» спая при использовании винтового клеммника модели 3720-ST
3722	96 2-проводных (два 1x48)	Мультиплексор	Электромеханическое с фиксацией	2-полюсное нормально разомкнутое	300 В	1 А	2 независимых мультиплексора 1x48
3723	60 2-проводных (два 1x30) или 120 1-проводных (два 1x60)	Мультиплексор	геркон	1-полюсное нормально разомкнутое	200 В	1 А	2 независимых мультиплексора 1x30
3724	60 2-проводных (два 1x30)	Мультиплексор	полевой транзистор	2-полюсное нормально разомкнутое	200 В	0,1 А	2 независимых мультиплексора 1x30. Автоматическая компенсация температуры «холодного» спая при использовании винтового клеммника модели 3720-ST
3730	6x16 2-проводных	Матрица	Электромеханические с фиксацией	2-полюсное нормально разомкнутое	300 В	1 А	Столбцы матрицы могут быть добавлены при помощи соединительной панели или изолированы при помощи реле
3731	6x16 2-проводных	Матрица	геркон	2-полюсное нормально разомкнутое	200 В	1 А	Время включения реле 0,5 мс. Столбцы матрицы могут быть добавлены при помощи соединительной панели или изолированы при помощи реле
3732	448 1-проводных узлов коммутации (четыре 4x28)	Матрица	геркон	1-полюсное нормально разомкнутое	200 В	0,75 А	Банки могут быть соединены вместе посредством реле для получения одной матрицы 4x112 или двух матриц 4x56. Также предусмотрены реле для плат на соединительной панели для плат расширения. Вспомогательный клеммный объединитель модели 3732-ST-R позволяет создать две матрицы 8x28 или одну матрицу 16x28
3740	32 1-полюсных ключа	Независимые каналы	Электромеханические с фиксацией	28 2-позиционных, 4 нормально разомкнутых	300 В пост./250 В пер. (нормально разомкнутые)	2 А (2-позиционные), 7 А (нормально разомкнутые)	32 независимых 1-проводных канала общего назначения
3750	40 цифровых линий ввода-вывода, 4 счетчика/таймера, 2 изолированных аналоговых выхода	Независимые каналы	-	-	-	-	Универсальная плат. 40 двунаправленных линий ввода-вывода. Четыре 32-разрядных счетчика-таймера. 2 программируемых аналоговых (напряжение или ток) выхода

Широкий диапазон возможностей коммутации сигналов в компактном корпусе

80-канальная система коммутации и управления 7001

Модель 7001 — это базовый блок, занимающий по ширине всего половину 19"-стойки. Она имеет высокую плотность размещения коммутационных элементов и два слота для коммутационных плат, рассчитанных на широкий спектр сигналов, используемых при измерениях и тестировании. Возможность коммутации постоянных сигналов с уровнями от нескольких нановольт до 1100 В и от нескольких фемтоампер до 5 А, а также коммутации радиочастотных и оптических сигналов делают модель 7001 универсальным средством коммутации для функциональных испытаний и самого широкого круга задач. Встроенное управление сканированием устраняет необходимость использования компьютера для контроля каждого этапа процедуры тестирования. Требуется просто задать нужный набор каналов, время задержки и число разверток. Встроенная энергонезависимая память позволяет хранить до 100 полных программ коммутации.

Каждый слот модели 7001 позволяет контролировать до 40 коммутационных каналов. Благодаря этому требуется меньшее число плат коммутации, что сокращает количество необходимого коммутационного оборудования. Соединительная панель модели 7001 устраняет необходимость установки соединительных проводов между платами и увеличивает гибкость конфигурирования. При помощи соединительной панели две платы можно соединить для получения мультиплексора 1x80, матрицы 4x20 или комбинации мультиплексора и матрицы для увеличения числа ее строк.

Вакуумно-флуоресцентный дисплей модели 7001 одновременно отображает, «замкнут» или «разомкнут» каждый из каналов системы коммутации. Возможность отображения состояния линий на графическом дисплее значительно упрощает настройку системы тестирования, внесение изменений в программу или ее отладку. Состояния плат, находящихся в обоих слотах, отображаются рядом на одном и том же экране.

Триггерное соединение (Trigger Link) — это высокоскоростная шина из параллельных триггерных линий, обеспечивающая простое согласование работы модели 7001 и других приборов. Эта шина устраняет задержки сигналов, возникающие при синхронизации через интерфейс GPIB, например, во время сканирования, и значительно увеличивает общую производительность системы.



- Возможность коммутации постоянных, радиочастотных и оптических сигналов.
- Позволяет коммутировать самый широкий в отрасли диапазон сигналов.
- Простая интеграция с цифровыми мультиметрами и источниками-измерителями.
- Отображение состояния всех каналов.
- Два слота для коммутационных плат.
- Поддерживает более 30 видов плат коммутации и управления.



Задняя панель модели 7001 с установленными платами коммутации

Широкофункциональная система коммутации для средних и крупных комплексов автоматизированной измерительной аппаратуры (АТЕ)

400-канальная система коммутации и управления 7002

Базовый блок 7002 может содержать до 400 2-проводных каналов мультиплексора или до 400 узлов коммутационной матрицы. На его передней панели установлен уникальный интерактивный дисплей для отображения состояния каналов и быстрого программирования. Скорость сканирования каналов достигает 300 каналов в секунду, в т.ч. для коммутационных плат с высокой плотностью размещения коммутационных элементов, например, модели 7015. Модель 7002 рассчитана на установку до 10 40-канальных плат. Таким образом, в корпусе для установки в 19"-стойку высотой всего 178 мм может размещаться до 400 2-проводных каналов. Модели 7002, 7001 имеют общий набор плат коммутации. Эти платы позволяют модели 7002 коммутировать постоянные сигналы от нескольких фемтоампер до единиц ампер и от нескольких нановольт до киловольт, а также радиочастотные и оптические сигналы. Соединительная панель системы 7002 позволяет гибко менять схемы коммутации и устраняет необходимость установки дополнительных соединительных проводов между платами.

Интерактивный дисплей, установленный на передней панели, сокращает время, необходимое для настройки модели 7002 и разработки программного обеспечения для тестирования. Дисплей отображает разомкнутое/замкнутое состояние каждого канала («замкнут» или «разомкнут»). Световое перо (приобретается дополнительно) позволяет программировать методом «укажи и выбери». Выбирая требуемые каналы или диапазоны каналов, можно создавать списки сканирования, формировать коммутационные матрицы, размыкать или замыкать каналы и сохранять в памяти схемы коммутации. Встроенная энергонезависимая память модели 7002 позволяет хранить до 500 полных схем коммутации.

Встроенное управление сканированием устраняет необходимость использования компьютера для контроля каждого этапа процедуры тестирования. Требуется просто задать нужный набор каналов, время задержки и число разверток. Триггерная шина в одном кабеле содержит шесть независимых аппаратных триггерных линий.



- Возможность коммутации постоянных, радиочастотных и оптических сигналов.
- Интерактивное отображение состояния каждого канала.
- Световое перо (приобретается дополнительно) для программирования с передней панели.
- Простая интеграция с цифровыми мультиметрами и источниками-измерителями.
- 10 слотов для коммутационных плат.
- Поддерживает более 30 видов плат коммутации и управления.



Задняя панель модели 7002

Коммутационные платы для систем 7001 и 7002

	Кол-во каналов	Конфигурация платы	Конфигурация реле	Макс. напряжение	Макс. ток	Макс. мощность	Контактная разность потенциалов	Макс. ток смещения	Рекомендованная верхняя частота сигналов	Тип подключения	СЕ	Комментарии	
С ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТЬЮ РАСПОЛОЖЕНИЯ КОММУТАЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ													
7011-C	40 2-проводных	Мультиплексор	2-полюсное нормально разомкнутое	110 В	1 А	60 ВА	< 1 мкВ	< 100 пА	2 МГц	Разъем	Да	Четыре независимых мультиплексора 1х10, подключение к соединительной панели	
7011-S	40 2-проводных	Мультиплексор	2-полюсное нормально разомкнутое	110 В	1 А	60 ВА	< 500 нВ	< 100 пА	2 МГц	Винтовые клеммы	Да	Четыре независимых мультиплексора 1х10, подключение к соединительной панели	
7012-C	4х10 2-проводных	Матрица	2-полюсное нормально разомкнутое	110 В	1 А	60 ВА	< 1 мкВ	< 100 пА	2 МГц	Разъем	Да	Строки подключены к содинительной панели	
7012-S	4х10 2-проводных	Матрица	2-полюсное нормально разомкнутое	110 В	1 А	60 ВА	< 500 нВ	< 100 пА	2 МГц	Винтовые клеммы	Да	Строки подключены к соединительной панели	
7013-C	20 2-проводных	Изолированный переключатель	2-полюсное нормально разомкнутое	110 В	1 А	60 ВА	< 1 мкВ	< 100 пА	10 МГц	Разъем	Да		
7013-S	20 2-проводных	Изолированный переключатель	2-полюсное нормально разомкнутое	110 В	1 А	60 ВА	< 500 нВ	< 100 пА	10 МГц	Винтовые клеммы	Да		
7015-C	40 2-проводных	Мультиплексор	2-полюсное нормально разомкнутое	175 В	34 мА	0,3 ВА	< 5 мкВ	< 1 нА	500 кГц	Разъем	Да	Высоконадежные твердотельные реле	
7015-S	40 2-проводных	Мультиплексор	2-полюсное нормально разомкнутое	175 В	34 мА	0,3 ВА	< 5 мкВ	< 1 нА	500 кГц	Винтовые клеммы	Да	Высоконадежные твердотельные реле	
7018-C	28 3-проводных	Мультиплексор	3-полюсное нормально разомкнутое	110 В	1 А	60 ВА	< 5 мкВ	< 100 пА	2 МГц	Разъем	Да	Коммутация 3-проводных каналов	
7018-S	28 3-проводных	Мультиплексор	3-полюсное нормально разомкнутое	110 В	1 А	60 ВА	< 5 мкВ	< 100 пА	2 МГц	Винтовые клеммы	Да	Коммутация 3-проводных каналов	
7035	36 2-проводных	Мультиплексор	2-полюсное нормально разомкнутое	60 В	1 А	30 ВА	< 1 мкВ	< 100 пА	10 МГц	Разъем	Да	9 независимых мультиплексоров 1х4 2-проводных линий	
7036	40 1-проводных	Изолированный переключатель	1-полюсное нормально разомкнутое	60 В	1 А	30 ВА	< 4 мкВ	< 100 пА	10 МГц	Разъем	Да	40 независимых 1-полюсных реле	
7111-S	40 1-проводных	Мультиплексор	1-полюсное двухпозиционное	110 В	1 А	60 ВА	< 500 нВ	< 100 пА	2 МГц	Винтовые клеммы	Да	Четыре независимых мультиплексора 1х10 1-проводных каналов, подключение соединительной панели	
УПРАВЛЕНИЯ													
7019-C	Две 3х6	Матрица	1-полюсное нормально разомкнутое	200 В	1 А	10 ВА	< 25 мкВ	< 100 пА	2 МГц	Разъем	Да	6-проводные измерения сопротивлений	
7020 7020-D*	80	Цифровые линии ввода-вывода								Разъем	Да	40 (ввод), 40 (вывод)	
7021	30/20	Мультиплексор и цифровые линии ввода-вывода	2-полюсное разомкнутое	110 В	1 А	30 ВА	< 3 мкВ	< 100 пА	10 МГц	Разъем	Да	Два мультиплексора. До 30 2-проводных каналов. Цифровые линии ввода (10) и вывода (10)	
7037-D*	30/20	Изолированные реле и цифровые линии ввода-вывода	1-полюсное нормально разомкнутое	110 В	1 А	30 ВА	< 4 мкВ	< 100 пА	10 МГц	Разъем	Да	30 независимых 1-проводных каналов коммутации. Цифровые линии ввода (10) и вывода (10)	
7065	Подробную информацию см. на сайте www.keithley.com											Да	Коммутационная плата с буферными усилителями для измерений эффекта Холла
РАДИОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА													
7016A	Два 1х4	2 изолированных переключателя	1-полюсное 4-позиционное	30 В	500 мА	10 ВА	< 6 мкВ		2 ГГц	SMA	Да	Согласующая нагрузка 50 Ом (приобретается дополнительно)	
7017	Два 1 х 4	2 изолированных переключателя	1-полюсное 4-позиционное	30 В	1 А	10 ВА	< 25 мкВ		800 МГц	SMA	Да	Рабочий ресурс каждого реле 10 ⁸ срабатываний	
7038	12	Три мультиплексора 1х4	1-полюсное 1х2х2 («древовидное»)	24 В	10 мА	10 Вт на 1,2 ГГц	< 15 мкВ		2 ГГц	75 Ом (SMB)	Да	Гнездо 75 Ом без согласующей нагрузки	
ОПТИЧЕСКИЕ													
Кол-во каналов		Тип оптоволоконка		Длина волны (нм)		Разъем		Длина оптоволоконка					
7090-8-4		1 х 8		Многомодовое оптоволоконко 62,5/125		780–1350		FC/SPC					1 м
7090-16-6		1 х 16		Одномодовое оптоволоконко (SMF-28) 9/125		1290–1650		FC/SPC					1 м

* Платы, в обозначении которых имеется индекс «-D», оснащены разъемами D-sub.

Коммутационные платы для систем 7001 и 7002 (продолжение)

	Кол-во каналов	Конфигурация платы	Тип реле	Макс. напряжение	Макс. ток	Макс. мощность	Контактная разность потенциалов	Макс. ток смещения	Рекомендованная верхняя частота сигналов	Тип подключения	СЕ	Комментарии
СИЛЬНОТОЧНЫЕ												
7053	10 2-проводных	Мультиплексор	2-полюсное нормально разомкнутое	300 В	5 А	100 ВА	< 1 мВ		1 МГц	Винтовые клеммы		
ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ												
7154	10 2-проводных	Мультиплексор	2-полюсное нормально разомкнутое	1100 В	500 мА	10 ВА	< 35 мкВ		1 МГц	Винтовые клеммы	Да	
СЛАБОТОЧНЫЕ												
7152	4x5 2-проводных	Матрица	2-полюсное нормально разомкнутое	200 В	500 мА	10 ВА	< 20 мкВ	< 1 нА	60 МГц	Разъем	Да	
7153	4x5 2-проводных	Матрица	1-полюсное нормально разомкнутое	1300 В	500 мА	10 ВА	< 50 мкВ	< 1 нА	60 МГц	Разъем	Да	
7158	10 1-проводных	Мультиплексор	1-полюсное переключающее	30 В	100 мА		< 200 мкВ	< 1 нА	1 МГц	BNC	Да	
НИЗКОВОЛЬТНЫЕ												
7067	10 4-проводных	Мультиплексор	4-полюсное нормально разомкнутое	150 В	350 мА	10 ВА	< 1 мкВ		1 МГц	Винтовые клеммы	Да	Измерение сопротивления по 4-проводной схеме
7168	8 2-канальных	Мультиплексор	2-полюсное нормально разомкнутое	10 В	50 мА		< 30 нВ		1 кГц	Винтовые клеммы	Да	
ДЛЯ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ТЕРМОПАР												
7014	39 2-канальных	Мультиплексор	2-полюсное нормально разомкнутое	110 В	1 А	60 ВА	< 1 мкВ	< 100 пА	2 МГц	Винтовые клеммы	Да	Автоматическая компенсация температуры «холодного» спая



Платы коммутации и управления для моделей 7001 и 7002

Коммутация с рекордно малыми токами утечки и контактными потенциалами

Системы коммутации моделей 707В и 708В для полупроводниковых технологий

- Органичная интеграция с системой 4200-SCS и аппаратурой серии 2600В для измерения вольтамперных и вольт-фарадных характеристик полупроводниковых материалов и приборов.
- Возможность хранения сотен схем в энергонезависимой памяти.
- 6 слотов для коммутационных плат (модель 707В).
- 1 слот для коммутационных плат (модель 708В).
- 14 линий цифрового ввода-вывода.
- Возможность программирования дистанционно (Ethernet/LXI, USB и GPIB) и вручную (с передней панели).
- Встроенный процессор TSP с внешним интерфейсом TSP-Link®.



Базовые блоки 707В и 708В специально предназначены для тестирования полупроводниковых устройств в лабораториях и на производстве. Они обеспечивают коммутацию исключительно малых токов и используют триаксиальные кабели и разъемы для подключения каналов. Для небольших автоматизированных систем тестирования достаточно модели 708В с одной платой коммутации с матрицей, содержащей до 8 строк и 12 столбцов (8x12). Модель 707В предназначена для задач, требующих большего числа каналов, и позволяет установить до шести плат 8x12, которые могут быть объединены для получения матриц еще большего размера при помощи соединительной панели. Обе модели 707В и 708В обеспечивают коммутацию смешанных сигналов, например, постоянных и радиочастотных.

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

CD-ROM с информацией об изделии;
CA-180-4A – кросс-кабель Ethernet CAT 5 длиной 1 м;
CA-179-2A – кросс-кабель Ethernet CAT 5 длиной 3 м;
CO-7 – шнур электропитания;
комплект для монтажа в стойку с передней панели;
комплект для монтажа в стойку сзади (только для модели 707В).



Платы коммутации для моделей 707В и 708В

	Кол-во каналов	Конфигурация платы	Тип реле	Макс. напряжение	Макс. ток	Макс. мощность	Контактная разность потенциалов	Макс. ток смещения	Рекомендованная верхняя частота сигналов	Тип подключения	СЕ	Комментарии
СЛАБОТОЧНЫЕ												
7072	8x12	Матрица	2-полюсное нормально разомкнутое	200 В	1 А	10 ВА	< 20 мкВ	< 1 нА	15 МГц	Триаксиальный разъем с 3 контактами	Да	Оптимизирована для тестирования полупроводниковых устройств
7072-NV	8 x 12	Матрица	2-полюсное нормально разомкнутое	1300 В	1 А	10 ВА	< 20 мкВ	< 1 нА	4 МГц	Триаксиальный разъем с 3 контактами		Оптимизирована для тестирования полупроводниковых устройств
7174A	8 x 12	Матрица	2-полюсное нормально разомкнутое	200 В	2 А			< 100 фА	30 МГц	Триаксиальный разъем с 3 контактами	Да	Оптимизирована для тестирования полупроводниковых устройств
ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ												
7173-50	4 x 12	Матрица	2-полюсное переключающее	30 В	0,5 А	10 ВА	< 15 мкВ	< 200 пА	200 МГц	BNC	Да	

Эталон универсальных коммутаторов радиочастотных и СВЧ-сигналов

Системы 46 и 46Т для коммутации радиочастотных и СВЧ-сигналов



Принадлежности, входящие в комплект поставки:

провод электропитания;
руководство по эксплуатации;
комплект для монтажа в стойку.

Системы коммутации микроволновых сигналов 46 и 46Т (с согласованной нагрузкой) предназначены для автоматической коммутации при тестирования широкого ассортимента телекоммуникационных изделий и устройств. Они позволяют управлять 32 контактами реле в корпусе высотой 2U для стандартной 19"-стойки. Системы 46 и 46Т спроектированы таким образом, чтобы максимально упростить процедуру настройки или перенастройки. Конфигурация переключателей и реле может быть в любое время изменена или дополнена для получения, в частности, мультиплексоров 1x18 и неблокируемых коммутационных матриц 2x6. Таким образом можно собрать схему коммутации, соответствующую требованиям задачи тестирования, без затрат на ненужные коммутационные элементы и др. Такой принцип конструкции — «ничего лишнего, только то, что нужно» — обеспечивает этим системам великолепное соотношение цены и качества.

- Компактная система коммутации радиочастотных и СВЧ-сигналов высотой всего 2U.
- Встроенный счетчик числа коммутаций для отображения ресурса.
- До 32 коммутационных каналов.
- Простое управление через встроенную интерфейсную шину GPIB (IEEE-488).
- Хранение информации о параметрах канала.

Цифровые мультиметры и системы сбора данных

Прецизионные цифровые мультиметры компании Keithley обеспечивает уникальное сочетание точности с обширными функциями измерений и анализа данных. Эти средства измерений могут использоваться как на этапе исследований и разработок, так и для обеспечения качества и проведения тестирования в условиях производства. Линейка цифровых мультиметров и систем сбора данных имеет приборы с разрешением от $6\frac{1}{2}$ до $8\frac{1}{2}$ разрядов и числом каналов от 1 до 200, позволяя выбрать средство измерения, наиболее точно соответствующее требованиям решаемой задачи.

- 72 **Техническая информация**
- 74 **Сравнительная таблица цифровых мультиметров и систем сбора данных**
- 76 **Высокое качество и полный набор функций цифрового мультиметра в портативном и настольном исполнении с возможностью применения в автоматизированных системах**
 Модель 2100: недорогой цифровой $6\frac{1}{2}$ -разрядный мультиметр высокой точности с интерфейсом USB
- 78 **Основная модель цифрового мультиметра с наилучшей функциональностью и стоимостью**
 Модель 2000: цифровой $6\frac{1}{2}$ -разрядный мультиметр
- 78 **Расширенные измерительные возможности и высокая точность для сложных задач**
 Модели 2001 и 2002: высококачественные цифровые мультиметры
- 82 **Возможности увеличения числа измерительных каналов**
 Платы мультиплексоров для мультиметров серии 2000
- 83 **Быстродействующий анализатор цепей и сигналов аудиодиапазона в полнофункциональном цифровом мультиметре**
 Модели 2015 и 2016: цифровые мультиметры для измерения параметров гармонических искажений в диапазоне от 20 Гц до 20 кГц
 Модели 2015-P и 20016-P: цифровые мультиметры для анализа аудиосигналов
- 83 **Высокое разрешение, малый уровень шума и высокая повторяемость измерений**
 Модель 2010: малозумящий цифровой $7\frac{1}{2}$ -разрядный мультиметр с автоматическим выбором диапазона
- 84 **Цифровой многоканальный $6\frac{1}{2}$ -разрядный мультиметр с интерфейсом Ethernet**
 Цифровой мультиметр и система сбора данных серии 2701 (Integra)
- 85 **Цифровые многоканальные $6\frac{1}{2}$ -разрядные мультиметры**
 Цифровые мультиметры и системы сбора данных серий 2700 и 2750 (Integra)
- 86 **Сравнительная таблица коммутационных и управляющих модулей для систем 2700, 2701 и 2750**
- 89 **Комплексная система для проверки сопротивления изоляции и качества электрических цепей подушек безопасности**
 Модель 2790: система тестирования подушек безопасности на основе источника-измерителя со встроенным цифровым мультиметром и системой коммутации
- 90 **Преобразователи интерфейса IEEE-488 (GPIB) для настольных приборов и автоматизированных комплексов**

Техническая информация

Цифровые мультиметры преобразуют аналоговые сигналы в цифровые. В общем случае цифровые мультиметры выполняют, как минимум, пять типовых функций: измерение постоянного напряжения, переменного напряжения, постоянного тока, переменного тока и сопротивления. Технические характеристики цифровых мультиметров различаются, но большинство этих приборов построены в соответствии со структурными схемами, аналогичными представленной на рис. 1.

Преобразование аналогового сигнала в цифровой

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) преобразует входной аналоговый сигнал в цифровой сигнал. От него, в основном, зависят ключевые характеристики прибора: скорость измерений, линейность, разрешение, подавление синфазной помехи и точность. Цифровой выходной сигнал отображается или регистрируется различными способами. Его можно визуально наблюдать на дисплее передней панели в числовом виде вместе с дополнительной информацией. Кроме того, цифровой сигнал может одновременно передаваться через внешний интерфейс (GPIB, RS-232, USB или Ethernet) на компьютер для дальнейшей обработки.

Разрешение

Разрешение определяется как наименьшее изменение сигнала, которое может быть зарегистрировано в каком-либо диапазоне, отнесенное к этому диапазону. Например, если прибор отображает в каком-либо диапазоне максимальное значение 19 999 и наименьшее регистрируемое изменение входного сигнала составляет ± 1 последней значащей цифры (LSD), то разрешение равно $1/19\,999$, или 0,005%.

Разрешение обычно выражают в виде целого числа и доли, например, $5\frac{1}{2}$ разрядов. Целое число представляет количество разрядов, в которых могут отображаться цифры от 0 до 9. Доля указывает на то, что самый старший разряд имеет одно или несколько отличных от нуля состояний, в случае обозначения $\frac{1}{2}$ в самом старшем разряде могут отображаться цифры 0, 1 или 2.

Чувствительность

Чувствительность похожа на разрешение в том отношении, что она характеризует наименьшее изменение входного сигнала, которое способен зарегистрировать прибор. Однако чувствительность выражается не в долях шкалы, а в абсолютных единицах и применяется к самому нижнему диапазону измеряемой величины. Чувствительность цифрового мультиметра с разрешением $7\frac{1}{2}$ разрядов составляет 10 нВ, если его самый нижний диапазон измерения 200 мВ (без учета влияния шума аналоговых цепей).

Погрешность

Погрешность определяется в виде числа, состоящего из двух слагаемых: $\pm(\% \text{ от показаний} + \% \text{ от диапазона})$ или как $\pm(\text{ppm от показаний} + \text{ppm от диапазона})$, где 1 ppm (part per million) соответствует 0,0001%. Чем ближе измеряемая величина к нижней границе диапазона, тем больший вклад в погрешность дает слагаемое, выраженное в процентах от диапазона. Чем ближе измеряемая величина к верхней границе диапазона, тем больший вклад в погрешность дает слагаемое, выраженное в процентах от показаний. Наилучшая точность достигается вблизи верхней границы диапазона.

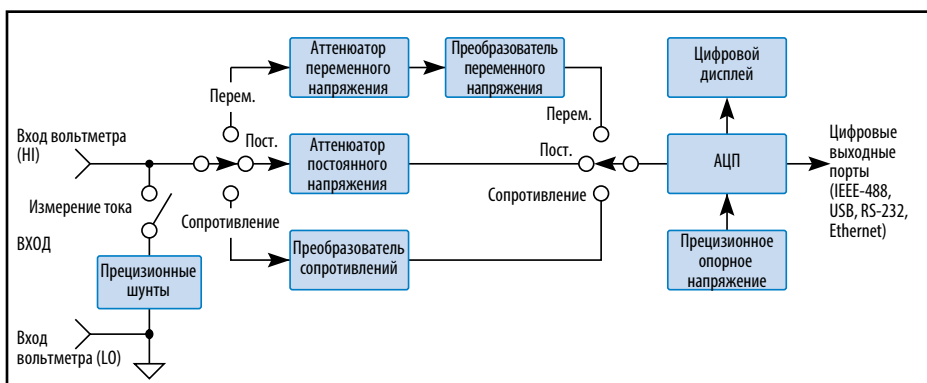


Рис. 1. Структурная схема цифрового мультиметра

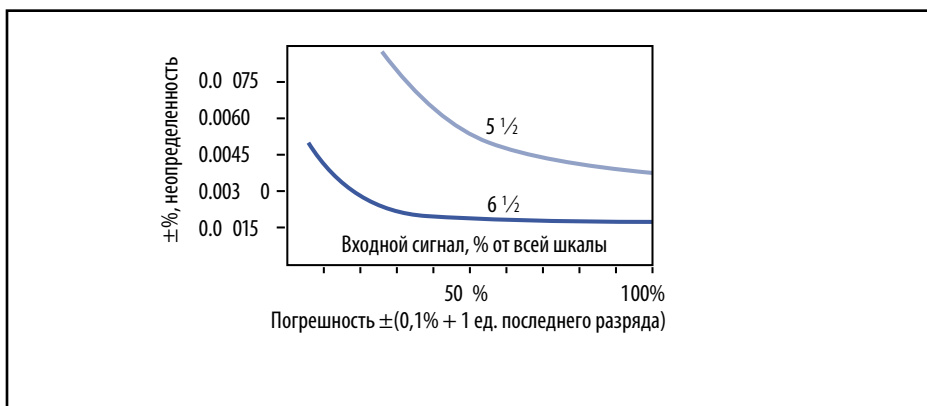


Рис. 2. Расчетная неопределенность результатов измерений для $5\frac{1}{2}$ - и $6\frac{1}{2}$ -разрядных цифровых мультиметров.

Погрешность обычно указывается при некоторых условиях, в частности, для интервалов рабочих температур $\pm 1^\circ\text{C}$, $\pm 5^\circ\text{C}$ и интервалов между калибровками 24 часа, 90 дней или один год. Погрешность можно снизить, уменьшая диапазон изменения температуры окружающей среды и выбирая более короткие интервалы между калибровками. На рис. 2 показано влияние уровня входного сигнала на неопределенность измеряемой величины в рабочем диапазоне. Погрешность обоих измерительных приборов задана как $\pm(0,1\% + 1 \text{ ед. последнего знака})$.

Нагрузка и входное сопротивление

Нагрузка цепи — это возмущение, вносимое в измеряемую цепь из-за небесконечного входного сопротивления цифрового мультиметра. Входное сопротивление представлено эквивалентным активным сопротивлением и емкостью входных клемм цифрового мультиметра.

Ошибка, обусловленная нагрузкой (рис. 3), представляет собой разность между напряжением, измеренным прибором (V_m), и напряжением идеального источника (V_s).

Ошибка, обусловленная падением напряжения (рис. 4), представляет собой разность между расчетным током, текущим через нагрузку (I_L), и измеренным током (I_m),

вызванную конечным падением напряжения на измерительном приборе.

Двухпроводная и четырехпроводная схемы измерения сопротивлений

Цифровой мультиметр с двумя выводами подает измерительный (зондирующий) ток через соединительные провода, которые одновременно подключены ко входам цифрового вольтметра. Такая двухпроводная схема измерения сопротивлений в большинстве задач работает хорошо. Однако падение напряжения на соединительных проводах с сопротивлением R_L может привести к существенным погрешностям при измерении малых сопротивлений (рис. 4, 5).

Четырехпроводная схема измерения сопротивлений (схема Кельвина) позволяет исключить падение напряжения на соединительных проводах цепи вольтметра путем подключения измеряемого сопротивления R_x к вольтметру при помощи двух дополнительных проводов. Поскольку из-за высокого входного сопротивления вольтметра ток в его цепи на много порядков меньше зондирующего тока, падением напряжения на соединительных проводах цепи вольтметра можно пренебречь.

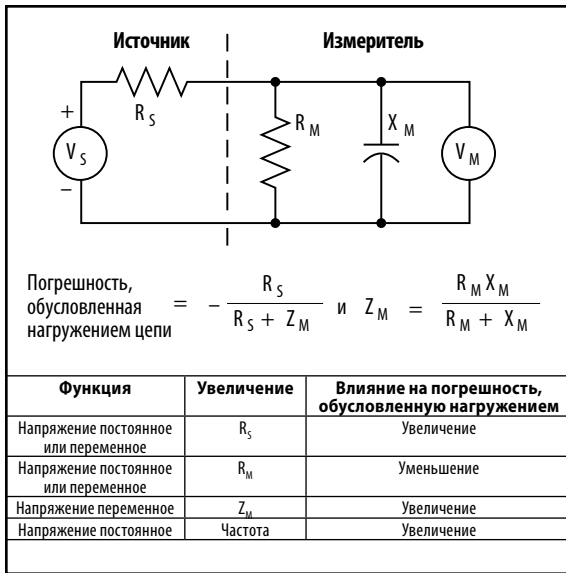


Рис. 3. Погрешность, обусловленная нагружением

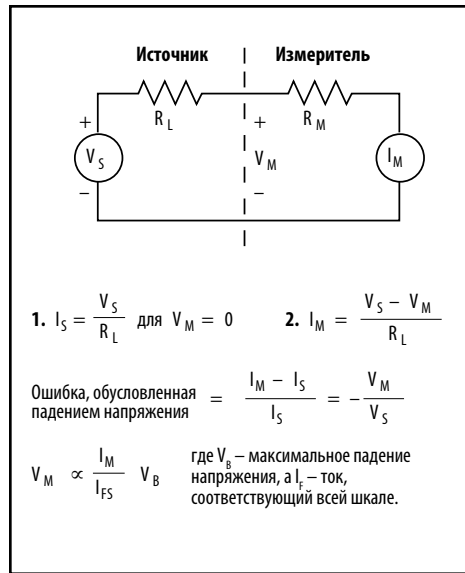


Рис. 4. Ошибка, обусловленная падением напряжения

Из-за высокого входного импеданса в измерительной цепи течет очень малый ток, поэтому на проводниках практически нет омического падения напряжения и напряжение на измерительных клеммах равно напряжению, создаваемому на сопротивлении R_X (рис. 5).

Быстродействие и время установления

Время установления показаний измерительного прибора обусловлено его входными цепями. Скорость снятия показаний, или быстродействие, зависит от времени установления. В случае приборов с высоким разрешением для достижения номинальной точности может оказаться необходимо подождать некоторое время для полного установления входного сигнала.

На скорость измерения влияют несколько параметров, в том числе постоянная времени интегрирования, выраженная числом периодов напряжения питающей сети (NPLC), тип цифрового фильтра, автоматическое переключение диапазонов, автоматическая коррекция нуля (AutoZero), задержки запуска и параметры настройки дисплея. Для достижения максимальной скорости измерений следует установить следующие параметры:

- постоянная времени интегрирования: 0,01 NPLC;
- фильтр: отключен;
- диапазон: фиксированный (без автоматического выбора диапазона);
- автоматическая коррекция нуля (AutoZero): отключена;
- задержка запуска: = 0,0;
- отображение на дисплее: отключено.

Следует подчеркнуть, что настройки, обеспечивающие наибольшую скорость, не обеспечивают максимальную точность.

Подавление помех от сети питания и синфазной помехи

Помехи от сети питания — это помехи, примешивающиеся к входному сигналу. Большая часть помех от сети питания совпадает с частотой питающей сети и ее гармониками. Коэффициент подавления помех от сети питания (NMRR) указывается в децибелах на частоте питающей сети 50 Гц или 60 Гц. Помехи от сети питания проявляются в виде импульсов или отклонения постоянного сигнала.

$NMRR = 20 \lg$ (максимальная амплитуда помехи на входе) / (максимальная ошибка, вносимая помехой)

Коэффициент подавления синфазной помехи (CMRR) характеризует способность измерительного прибора подавлять сигнал, общий для обоих входов измерительного прибора. Этот параметр обычно измеряют с несбалансированным сопротивлением 1 кОм в одном из соединительных проводов. Увеличение несбалансированного сопротивления приведет к увеличению синфазной помехи. CMRR определяют для постоянного сигнала на частоте 50 Гц или 60 Гц и выражают (как и NMRR) в децибелах. CMRR применяют как к измерениям постоянных, так и переменных сигналов. Синфазная помеха проявляется как ошибка смещения, наложенная на полезный сигнал.

Защита от перегрузки

Защита от перегрузки является средством обеспечения электрической надежности и должна обеспечивать достаточную защиту измерительного прибора от обычных сетевых напряжений. Как правило, наиболее чувствительными к высоким напряжениям являются самый нижний диапазон измерения напряжения (например, 100 мВ) и диапазоны измерения сопротивлений. Аналогичным защите от пере-

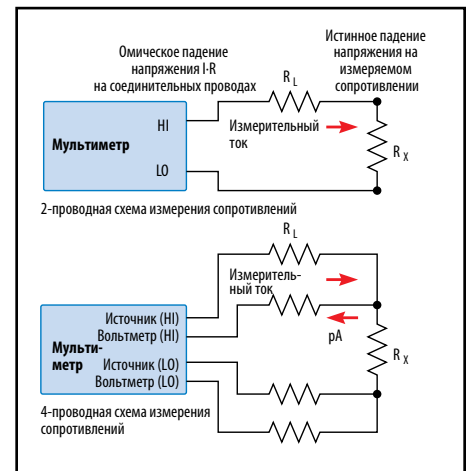


Рис. 5. Двухпроводная и четырехпроводная схемы измерения сопротивлений

грузки параметром является максимальное напряжение синфазного сигнала, при котором может работать измерительный прибор: это максимальное напряжение относительно заземления, которое способен выдержать вход низкого потенциала (LO) или общий вывод (COMMON).

Входная клемма должна всегда быть нагружена на минимальное сопротивление.

Сравнительная таблица цифровых мультиметров и систем сбора данных

Модель	2100	2000	2010	2001	2002
Кол-во разрядов	6½	6½	7½	7½	8½
Каналы расширения	нет	10	10	10	10
Постоянное напряжение					
Чувствительность	0,1 мкВ	100 нВ	10 нВ	10 нВ	1 нВ
Максимальное значение	1000 В	1000 В	1000 В	1100 В	1100 В
Основная погрешность	0,0038%	0,002%	0,0018%	0,0018%	0,0006%
Отношение (относительное измерение)	•		•	по дополнительному заказу	по дополнительному заказу
Пиковые выбросы при постоянном напряжении				•	•
Переменное напряжение (истинное среднеквадратическое значение)					
Чувствительность	0,1 мкВ	100 нВ	100 нВ	100 нВ	100 нВ
Максимальное значение	750 В	750 В	750 В	775 В (1100 В пик.)	775 В (1100 В пик.)
Основная погрешность	0,08%	0,05%	0,05%	0,03%	0,02%
Полоса частот	3 Гц – 300 кГц	3 Гц – 300 кГц	3 Гц – 300 кГц	1 Гц – 2 МГц	1 Гц – 2 МГц
дБ, дБм	•	•	•	•	•
Частота, период	•	•	•	•	•
Пиковое/среднее/среднеквадратич. значение	среднеквадратич. значение	среднеквадратич. значение	среднеквадратич. значение	•	•
АС, АС + ДС	АС	АС	АС	•	•
Сопротивление (2/4-проводная схема)					
Чувствительность	100 мКОм	100 мКОм	1 мКОм	1 мКОм	100 нОм
Максимальное значение	100 МОм	120 МОм	120 МОм	1 ГОм	1 ГОм
Основная погрешность	0,015%	0,008%	0,0032%	0,0032%	0,0007%
Тестирование целостности цепей	•	•	•		
Тестирование диодов	•	•	•		
Компенсация смещения			•	•	•
Измерение при малых токах и падениях напряжений (dry circuit)			•		
Постоянный ток	•	•	•	•	•
Обнаружение обрыва в цепи источника					•
Постоянный ток					
Чувствительность	10 нА	10 нА	10 нА	10 пА	10 пА
Диапазон	10 мА – 3 А	10 мА – 3 А	10 мА – 3 А	200 мкА – 2 А	200 мА – 2 А
Основная погрешность	0,055%	0,03%	0,03%	0,03%	0,027%
Измерение тока без разрыва цепи				•	•
Переменный ток (истинное среднеквадратическое значение)					
Чувствительность	1 мкА	1 мкА	1 мкА	100 пА	100 пА
Диапазон	1 А – 3 А	1 А – 3 А	1 А – 3 А	200 мкА – 2 А	200 мкА – 2 А
Основная погрешность	0,15%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
Полоса частот	3 Гц – 5 кГц	3 Гц – 5 кГц	3 Гц – 5 кГц	20 Гц – 100 кГц	20 Гц – 100 кГц
Общие характеристики					
Интерфейсы	USB	GPIO, RS-232	GPIO, RS-232	GPIO	GPIO
Удержание показаний	•	•	•		
Цифровые линии ввода-вывода	•			•	•
Память для результатов измерений	2000 отсчетов	1024 отсчетов	1024 отсчетов	Опционально до 30 000	Опционально до 30 000
Максимальная скорость измерений	2000 отсчетов/с	2000 отсчетов/с	2000 отсчетов/с	2000 отсчетов/с	2000 отсчетов/с
Измерения температуры	Терморезистором (RTD)	Термопарой	Термопарой, терморезистором	Термопарой, терморезистором	Термопарой, терморезистором
Эмуляция языка	34401A	8840/42, 196/199	196/199		HP 3458

Модель	3706A	2015, 2016	2700	2701	2750
Кол-во разрядов	7½	6½	6½	6½	6½
Каналы расширения	576		80	80	200
Постоянное напряжение					
Чувствительность	10 нВ	100 нВ	100 нВ	100 нВ	100 нВ
Максимальное значение	300 В	1000 В	1000 В	1000 В	1000 В
Основная погрешность	0,002%	0,002%	0,002%	0,002%	0,002%
Отношение			С платой мультиметра	С платой мультиметра	С платой мультиметра
Пиковые выбросы на постоянном напряжении					
Переменное напряжение (истинное среднеквадратическое значение)					
Чувствительность	100 нВ	100 нВ	100 нВ	100 нВ	100 нВ
Максимальное значение	300 В	750 В	750 В	750 В	750 В
Основная погрешность	0,05%	0,05%	0,06%	0,06%	0,06%
Полоса частот	3 Гц – 300 кГц	3 Гц – 300 кГц	3 Гц – 300 кГц	3 Гц – 300 кГц	3 Гц – 300 кГц
дБ, дБм	•	•			
Частота, период	•	•	•	•	•
THD, гармоники		20 Гц – 20 кГц			
Амплитуды гармоник		Модификации «-Р»			
Источник гармонического сигнала		4 В/9 В (10 Гц – 20 кГц)			
Сопротивления (2/4-проводная схема)					
Чувствительность	100 нОм	100 мОм	100 мОм	100 мОм	1 мОм
Максимальное значение	100 МОм	120 МОм	120 МОм	120 МОм	120 МОм
Основная погрешность	0,004%	0,008%	0,008%	0,008%	0,008%
Тестирование целостности цепей	•		•	•	•
Тестирование диодов		•			
Компенсация смещения	•	•	•	•	•
Измерение при малых токах и падениях напряжений (dry circuit)	•				•
Постоянный ток	•	•	•	•	•
Постоянный ток					
Чувствительность	1 пА	10 нА	10 нА	10 нА	10 нА
Диапазон	10 мкА – 3 А	10 мА – 3 А	20 мА – 3 А	20 мА – 3 А	20 мА – 3 А
Основная погрешность	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%
Переменный ток (истинное среднеквадратическое значение)					
Чувствительность	1 нА	1 мкА	1 мкА	1 мкА	1 мкА
Диапазон	1 мА – 3 А	1 А – 3 А	1 А – 3 А	1 А – 3 А	1 А – 3 А
Основная погрешность	0,08%	0,1%	0,15%	0,16%	0,15%
Полоса частот	3 Гц – 10 кГц	3 Гц – 5 кГц	3 Гц – 5 кГц	3 Гц – 5 кГц	3 Гц – 5 кГц
Общие характеристики					
Интерфейсы	GPIO, LXI/Ethernet, USB	GPIO, RS-232	GPIO, RS-232	Ethernet, RS-232	GPIO, RS-232
Удержание показаний		•	•	•	
Цифровые линии ввода-вывода	14	2 ввод/5 вывод (ТТЛ)	2 ввод/5 вывод (ТТЛ)		
Память отсчетов	650 000 отсчетов	1024 отсчетов	55 000 отсчетов	450 000 отсчетов	110 000 отсчетов
Максимальная скорость измерений	> 14 000 отсчетов/с	2000 отсчетов/с	2000 отсчетов/с	3500 отсчетов/с	2500 отсчетов/с
Измерения температуры	Термопара, терморезистор, термистор	Термопара	Термопара, терморезистор, термистор	Термопара, терморезистор, термистор	Термопара, терморезистор, термистор

Высокое качество и полный набор функций цифрового мультиметра в портативном и настольном исполнении с возможностью применения в автоматизированных системах

Модель 2100: недорогой цифровой 6½-разрядный мультиметр высокой точности с интерфейсом USB



Цифровой мультиметр 2100 с интерфейсом USB – новая модель в семействе высокоэффективных цифровых мультиметров компании Keithley. Высокая точность и разрешение 6½ разрядов идеально подходят для ответственных применений. Прибор оснащен 11 измерительными функциями и 8 математическими функциями, это позволяет непосредственно считывать наиболее часто используемые величины.

Модель 2100 обеспечивает стабильность, точность и быстродействие измерений при очень малой стоимости. Основная погрешность измерения постоянного напряжения в течение одного года в диапазоне 10 В составляет 0,0038%, а основная погрешность измерения сопротивления в течение одного года в диапазоне 10 кОм – 0,013%. При разрешении 6½ разрядов модель 2100 обеспечивает передачу через удаленный интерфейс USB до 50 отсчетов в секунду. При быстрых измерениях с разрешением 4½ разрядов прибор считывает свыше 2000 отсчетов в секунду во внутренний буфер.

Уникальное сочетание высокой точности и низкой стоимости владения делает модель 2100 непревзойденным рабочим инструментом для инженеров-исследователей, разработчиков, специалистов по тестированию продукции, а также для ученых и студентов, выполняющих точные измерения основных величин. Цифровой мультиметр 2100 может использоваться как самостоятельное средство измерения, так и в качестве компонента автоматизированных измерительных комплексов.

- Высокоточный цифровой 6½-разрядный мультиметр для ответственных применений по цене 5½-разрядного мультиметра.
- Полностью заданные погрешности измерительных функций обеспечивают получение результатов в соответствии с ISO.
- TMC-совместимый интерфейс USB с, для использования с тестовыми программами на языке SCPI.
- В комплект поставки входят программные средства для графического отображения результатов и передачи данных в Microsoft Word и Excel.
- Прочная конструкция обеспечивает длительный срок службы при использовании в качестве лабораторного и переносного прибора.
- Возможность использования входов на передней или задней панелях упрощает работу при расположении на столе или в приборной стойке.

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

руководство по эксплуатации на CD, технический паспорт, драйвер LabVIEW®, библиотека ввода-вывода Keithley I/O Layer, кабель USB, провод электропитания, измерительный кабель с изолированными зажимами, программные надстройки KI-Tool и KI-Link Add-in (для Microsoft Word и для Excel).



Задняя панель модели 2100

Технические характеристики модели 2100

Технические характеристики

ИЗМЕРЕНИЕ ПОСТОЯННЫХ СИГНАЛОВ: погрешность¹ ±(% от показаний +% от диапазона)

Функция	Диапазон	Разрешение	Входное сопротивление	1 год, 23 °C ± 5 °C
Пост. напряжение	100,0000 мВ	0,1 мкВ	> 10 ГОм	0,0055 + 0,0040
	1,000000 В	1,0 мкВ	> 10 ГОм	0,0045 + 0,0008
	10,00000 В	10 мкВ	> 10 ГОм	0,0038 + 0,0006
	100,0000 В	100 мкВ	10 МОм	0,0050 + 0,0007
	1000,000 В	1 мВ	10 МОм	0,0055 + 0,0010
Функция	Диапазон	Разрешение	Сопротивление шунта	1 год, 23 °C ± 5 °C
Постоянный ток (DCI)	10,00000 мА	10 нА	5,1 Ом	0,055 + 0,025
	100,0000 мА	100 нА	5,1 Ом	0,055 + 0,006
	1,000000 А	1 мкА	0,1 Ом	0,120 + 0,015
	3,000000 А	10 мкА	0,1 Ом	0,150 + 0,025
Функция	Диапазон	Разрешение	Зондирующий ток	1 год, 23 °C ± 5 °C
Сопротивление ²	100,0000 Ом	100 мКОм	1 мА	0,015 + 0,005
	1,000000 кОм	1 МОм	1 мА	0,015 + 0,002
	10,00000 кОм	10 МОм	100 мкА	0,013 + 0,002
	100,0000 кОм	100 МОм	10 мкА	0,015 + 0,002
	1,000000 МОм	1 Ом	5 мкА	0,017 + 0,002
	10,00000 МОм	10 Ом	500 нА	0,045 + 0,002
	100,0000 МОм	100 Ом	500 нА (10 МОм)	1,00 + 0,020
Тестирование диодов	1,0000 В	10 мкВ	1 мА	0,040 + 0,020
Целостность цепей	1000,00 Ом	10 МОм	1 мА	0,024 + 0,030

ПРИМЕЧАНИЯ К ИЗМЕРЕНИЮ ПОСТОЯННЫХ СИГНАЛОВ

- Технические характеристики справедливы после двухчасового прогрева.
 - АЦП настроен для работы в режиме непрерывного запуска.
 - Входной ток смещения < 30 нА при 25 °C
 - Защита входа – 1000 В во всех диапазонах (входная мощность 2 Вт).
 - Параметр «Measurement Rate» выбран равным 1 PLC.
- Технические характеристики для 4-проводной схемы измерения сопротивлений. Для 2-проводного режима измерения сопротивлений необходимо использовать коррекцию нуля или вычитать сопротивление соединительных проводов из отображаемого значения.
 - Максимальное сопротивление проводников 10% от диапазона для каждого проводника в диапазонах 100 Ом и 1 кОм; добавить 1 кОм для сопротивления каждого провода во всех остальных диапазонах.

ПОДАВЛЕНИЕ ШУМА ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ ПОСТОЯННЫХ СИГНАЛОВ (60 Гц/50 Гц)

Скорость	Кол-во разрядов	CMRR ¹	NMRR ²
10 PLC	6½	140 дБ	60 дБ
1 PLC	5½	140 дБ	60 дБ

- Для несбалансированного сопротивления 1 кОм в проводе низкого потенциала.
- Для частоты сети электропитания ±0,1%.

ИЗМЕРЕНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ:

погрешность¹ ± (% от показаний + % от диапазона)

Функция	Диапазон	Частота (Гц)	1 год ±(% от показаний) 23 °C ± 5 °C	
Частота и период	От 100 мВ до 750 В²	3–5	0,10	
		5–40	0,05	
		40–300 000	0,01	
Функция	Диапазон	Разрешение	Частота (Гц)	1 год 23 °C ± 5 °C
Перем. напр. (истинное среднеквадратическое значение перем. напряжения)	100,0000 мВ	0,1 мкВ	3–5	1,15 + 0,05
			5–10	0,45 + 0,05
			10–20 000	0,08 + 0,05
			20 000–50 000	0,15 + 0,06
			50 000–100 000	0,70 + 0,09
			100 000–300 000	4,25 + 0,60
	от 1,000000 В до 750,000 В²	от 1,0 мкВ до 1 мВ	3–5	1,10 + 0,04
			5–10	0,4 + 0,04
			10–20 000	0,08 + 0,04
			20 000–50 000	0,14 + 0,06
			50 000–100 000	0,70 + 0,08
			100 000–300 000	4,35 + 0,50
Перем. ток (истинное среднеквадратическое значение перем. тока)	1,000000 А	1 мкА	3–5	1,10 + 0,05
			5–10	0,40 + 0,05
			10–5000	0,15 + 0,05
	3,000000 А	10 мкА	3–5	1,25 + 0,07
			5–10	0,45 + 0,07
			10–5000	0,20 + 0,07

ПРИМЕЧАНИЯ К ИЗМЕРЕНИЮ ПЕРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ

- Технические характеристики справедливы после двухчасового прогрева для получения разрешения 6½ разрядов.
 - выбран ФНЧ типа «Slow» (полоса частот 3 Гц).
 - Чистый синусоидальный сигнал на входе превышает 5% от диапазона.
- Диапазон 750 В переменного напряжения ограничен частотой 100 кГц.

ТЕМПЕРАТУРА (измерение терморезистором)

Диапазон	Разрешение	Погрешность при 4-проводной схеме подключения ¹ , 1 год
от –100 °C до +100 °C	0,001 °C	±0,1 °C
от –200 °C до +630 °C	0,001 °C	±0,2 °C

ТИП ТЕРМОРЕЗИСТОРА: платиновый 100 Ом (PT100), D100, F100, PT385 или PT3916.

МАКСИМАЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ ПРОВОДОВ (каждый провод): 12 Ом (для обеспечения номинальной точности).

ТОК ДАТЧИКА: 1 мА (импульсный).

- Без учета погрешностей датчика. 23 °C ± 5 °C.

ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

CMRR ПО ПЕРЕМЕННОМУ ТОКУ: 70 дБ (для несбалансированного сопротивления 1 кОм в соединительном проводе низкого потенциала).

ПИТАНИЕ: 120 В/220 В/240 В

ЧАСТОТА ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ: 50/60 Гц, автоматическое определение.

ПОТРЕБЛЯЕМАЯ МОЩНОСТЬ: макс. 25 ВА.

ЦИФРОВОЙ ИНТЕРФЕЙС: USB-совместимый, разъем типа В.

УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ: только для использования внутри помещения.

РАБОЧИЙ ДИАПАЗОН ТЕМПЕРАТУР: от 5 °C до 40 °C.

РАБОЧАЯ ВЛАЖНОСТЬ: максимальная относительная влажность 80% для температур до 31 °C, линейное уменьшение относительной влажности до 50% при 40 °C.

ДИАПАЗОН ТЕМПЕРАТУР ХРАНЕНИЯ: от –25 °C до 65 °C.

РАБОЧАЯ ВЫСОТА НАД УРОВНЕМ МОРЯ: до 2000 м над уровнем моря.

РАЗМЕРЫ В НАСТОЯЩЕЙ КОНФИГУРАЦИИ (макс.): (высота х ширина х глубина) 112 х 256 х 375 мм.

МАССА: 4,1 кг.

БЕЗОПАСНОСТЬ: соответствует Директивам Европейского союза 73/23/EEC, EN 61010-1 и UL 61010-1:2004.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ: соответствует Директивам Европейского союза 89/336/EEC, EN 61326-1.

ГАРАНТИЯ: один год.

Основная модель цифрового мультиметра с наилучшей функциональностью и стоимостью

Модель 2000: цифровой 6½-разрядный мультиметр



Цифровой 6½-разрядный мультиметр модели 2000 – это быстрый, точный и высокостабильный прибор, простой в эксплуатации и доступный по стоимости. В нем сочетаются широкие диапазоны и высокая точность измерений. Модель 2000 позволяет измерять постоянное напряжение от 100 нВ до 1 кВ (с основной погрешностью 0,002% за 90 дней) и сопротивление на постоянном токе от 100 мкОм до 100 МОм (с основной погрешностью 0,008% за 90 дней).

Модель 2000 обеспечивает высокую скорость измерений при любом разрешении. При разрешении 6½ разрядов прибор передает 50 отсчетов в секунду через шину IEEE-488, при разрешении 4½ разряда он способен считывать до 2000 отсчетов в секунду во внутренний буфер емкостью 1024 отсчетов. Это делает его великолепным средством измерения для задач, критичным к производительности. Модель 2000 оснащена 13 встроенными измерительными функциями, включая измерения постоянного и переменного напряжения, постоянного и переменного тока, двухпроводные и четырехпроводные измерения сопротивлений, проверку целостности цепей и тестирование диодов.

- 13 измерительных функций.
- 2000 отсчетов в секунду при разрешении 4½ разряда.
- Платы мультиплексоров (заказываются дополнительно) для многоканальных измерений.
- Интерфейсы IEEE-488 и RS-232.
- Набор команд Fluke 8840/42.

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

инструкция по эксплуатации;

измерительный кабель с изолированными зажимами модели 1751.

Расширенные измерительные возможности и высокая точность для сложных задач

Модели 2001 и 2002: высококачественные цифровые мультиметры

Цифровые 7½-разрядные мультиметры модели 2001 и 8½-разрядные мультиметры модели 2002 имеют технические характеристики, обычно присущие значительно более дорогим приборам, и обеспечивают большое разнообразие измерительных функций, которые обычно отсутствуют у цифровых мультиметров. Высокое разрешение этих приборов обеспечивает широкий динамический диапазон, позволяющий измерять напряжения от 1 мкВ до 20 В в одном диапазоне. В тех задачах, в которых важное значение имеют высокая производительность и универсальность, модели 2001 и 2002 обеспечивают скорость измерений более 2000 отсчетов в секунду при разрешении 4½ разряда. При разрешении 7½ разрядов модель 2002 обеспечивает номинальную точность на скорости до 44 измерений в секунду при измерении постоянных напряжений и сопротивлений. В модели 2002 для 4-проводных измерений сопротивлений используется уникальный однофазный метод, что позволяет проводить измерения в два раза быстрее при данной частоте питающей сети. Данный метод также устраняет ошибки, вызванные непостоянством сопротивления измерительной цепи, возникающим при использовании быстрых манипуляторов компонентов. Кроме того, встроенная цепь обнаружения обрыва измерительной цепи устраняет многие проблемы, возникающие в процессе тестирования изделий в условиях производства. Патентованная схема измерительной цепи делает измерения переменных сигналов с помощью моделей 2001 и 2002 в несколько раз более точными, чем измерения с помощью аналоговых цифровых мультиметров других производителей (погрешность менее 0,1% вплоть до частоты 1 Гц).



- Истинное разрешение 7½ (модель 2001) или 8½ (модель 2002) разрядов.
- Исключительная достоверность результатов при высокой скорости измерений.
- Широкий выбор встроенных измерительных функций.
- Платы 10-канальных мультиплексоров (приобретаются дополнительно).
- Совместимость с IEEE-488.2 и SCPI.
- Модель 2002 может работать в режиме эмуляции HP 3458A.

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

высококачественные измерительные кабели модели 8605;

руководство по эксплуатации;

крышка отсека для платы мультиплексора;

полный набор калибровочных данных.

Технические характеристики модели 2000

ИЗМЕРЕНИЕ ПОСТОЯННЫХ СИГНАЛОВ

УСЛОВИЯ: средняя скорость измерений (соответствует Rate=1 PLC)¹ или медленная скорость измерений (Rate=10 PLC) или средняя скорость измерений (Rate=1 PLC) с 10-точечным фильтром

ПОГРЕШНОСТЬ: $\pm(\text{ppm от показаний} + \text{ppm от диапазона})$ (1 ppm = 0,0001%)

ФУНКЦИЯ	ДИАПАЗОН	РАЗРЕШЕНИЕ	ЗОНДИРУЮЩИЙ ТОК ИЛИ ПАДЕНИЕ НАПЯЖЕНИЯ ($\pm 5\%$)	ВХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ	24 ЧАС ¹⁴ 23 °C $\pm$ 1 °C	90 ДНЕЙ 23 °C $\pm$ 5 °C	1 ГОД 23 °C $\pm$ 5 °C	ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ 0–18 °C и 28 °C – 50 °C
НАПЯЖЕНИЕ	100,0000 мВ	0,1 мкВ		> 10 ГОм	30 + 30	40 + 35	50 + 35	2 + 6
	1,000000 В	1,0 мкВ		> 10 ГОм	15 + 6	25 + 7	30 + 7	2 + 1
	10,00000 В	10 мкВ		> 10 ГОм	15 + 4	20 + 5	30 + 5	2 + 1
	100,0000 В	100 мкВ		10 МОм $\pm 1\%$	15 + 6	30 + 6	45 + 6	5 + 1
	1000,000 В ⁹	1 мВ		10 МОм $\pm 1\%$	20 + 6	35 + 6	45 + 6	5 + 1
СОПРОТИВЛЕНИЕ ¹⁵	100,0000 Ом	100 мКОм.	1 мА		30 + 30	80 + 40	100 + 40	8 + 6
	1,000000 кОм	1 МОм	1 мА		20 + 6	80 + 10	100 + 10	8 + 1
	10,00000 кОм	10 МОм	100 мкА		20 + 6	80 + 10	100 + 10	8 + 1
	100,0000 кОм	100 МОм	10 мкА		20 + 6	80 + 10	100 + 10	8 + 1
	1,000000 МОм ¹⁶	1 Ом	10 мкА		20 + 6	80 + 10	100 + 10	8 + 1
	10,00000 МОм ^{11, 16}	10 Ом	700 нА (10 МОм)		150 + 6	200 + 10	400 + 10	95 + 1
	100,0000 МОм ^{11, 16}	100 Ом	700 нА (10 МОм)		800 + 30	1500 + 30	1500 + 30	900 + 1
ТОК	10,00000 мА	10 нА	< 0,15 В		60 + 30	300 + 80	500 + 80	50 + 5
	100,0000 мА	100 нА	< 0,03 В		100 + 300	300 + 800	500 + 800	50 + 50
	1 А	1 мкА	< 0,3 В		200 + 30	500 + 80	800 + 80	50 + 5
	3,00000 А	10 мкА	< 1 В		1000 + 15	1200 + 40	1200 + 40	50 + 5
ЦЕЛОСТНОСТЬ ЦЕПЕЙ (2-ПРОВОД.)	1 кОм	100 МОм	1 мА		40 + 100	100 + 100	120 + 100	8 + 1
ТЕСТИРОВАНИЕ ДИОДОВ	3,00000 В	10 мкВ	1 мА		20 + 6	30 + 7	40 + 7	8 + 1
	10,00000 В	10 мкВ	100 мкА		20 + 6	30 + 7	40 + 7	8 + 1
	10,00000 В	10 мкВ	10 мкА		20 + 6	30 + 7	40 + 7	8 + 1

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПОСТОЯННЫХ СИГНАЛОВ²

ФУНКЦИЯ	КОЛ-ВО РАЗРЯДОВ	ОТСЧЕТОВ/с	PLC ⁸
Постоянное напряжение (все диапазоны), постоянный ток (все диапазоны) и измерение сопротивлений (диапазон < 10 МОм)	6½ ^{3,4}	5	10
	6½ ^{3,7}	30	1
	6½ ^{3,5}	50	1
	5½ ^{3,5}	270	0,1
	5½ ⁵	500	0,1
	5½ ⁵	1000	0,04
	4½ ⁵	2000	0,01

БЫСТРОДЕЙСТВИЕ СИСТЕМЫ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПОСТОЯННЫХ СИГНАЛОВ^{2, 6}

ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ ДИАПАЗОНОВ⁷: 50/с.

ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ³: 45/с.

ВРЕМЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫБОРА ДИАПАЗОНА³, 10: < 30 мс.

ПЕРЕДАЧА ОТСЧЕТОВ В КОДАХ ASCII ЧЕРЕЗ RS-232 (19 200 бод) 55/с.

МАКС. ЧАСТОТА ВНУТРЕННЕГО ЗАПУСКА: 2000/с.

МАКС. ЧАСТОТА ВНЕШНЕГО ЗАПУСКА: 400/с.

ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПОСТОЯННЫХ СИГНАЛОВ

ЛИНЕЙНОСТЬ В ДИАПАЗОНЕ 10 В ПОСТ.: $\pm(1 \text{ ppm от показаний} + 2 \text{ ppm от диапазона})$.

ЗАЩИТА ВХОДА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПОСТОЯННОГО НАПЯЖЕНИЯ, СОПРОТИВЛЕНИЯ, ТЕМПЕРАТУРЫ, ЦЕЛОСТНОСТИ ЦЕПЕЙ И ТЕСТИРОВАНИИ ДИОДОВ: 1000 В во всех диапазонах.

МАКС. СОПРОТИВЛЕНИЕ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ ПРОВОДОВ ПРИ 4-ПРОВОДНОЙ СХЕМЕ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЙ: 10% от диапазона для каждого провода в диапазонах 100 Ом и 1 кОм; 1 кОм для каждого проводника во всех остальных диапазонах.

ЗАЩИТА ВХОДА ПО ПОСТОЯННОМУ ТОКУ: предохранитель 3 А, 250 В.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ШУНТА: 0,1 Ом в диапазонах 3 А, 1 А и 100 мА. 10 Ом в диапазоне 10 мА.

Порог при проверке целостности цепей: регулируемый от 1 Ом до 1000 Ом.

ПОГРЕШНОСТЬ ПРИ ОТКЛЮЧЕННОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ НУЛЯ: дополнительно $\pm(2 \text{ ppm диапазона} + 5 \text{ мкВ})$ для < 10 минут и изменении температуры $\pm 1^\circ\text{C}$.

ВЫХОД ЗА ПРЕДЕЛЫ ДИАПАЗОНА: 120% от диапазона, кроме диапазонов 1000 В, 3 А и тестирования диодов.

СКОРОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ И ПОДАВЛЕНИЕ ШУМОВ

Rate (период дискретизации)	ОТСЧЕТОВ/с	КОЛ-ВО РАЗРЯДОВ	СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ШУМА В ДИАПАЗОНЕ 10 В	NMRR ¹²	CMRR ¹³
10 PLC	5	6½	< 1,5 мкВ	60 дБ	140 дБ
1 PLC	50	6½	< 4 мкВ	60 дБ	140 дБ
0,1 PLC	500	5½	< 22 мкВ	—	80 дБ
0,01 PLC	2000	4½	< 150 мкВ	—	80 дБ

ПРИМЕЧАНИЯ К ИЗМЕРЕНИЮ ПОСТОЯННЫХ СИГНАЛОВ

- Прибавить следующее значение к погрешности (ppm от диапазона): 1 В и 100 В – 2 ppm; 100 мВ – 15 ppm; 100 Ом – 15 ppm; от 1 кОм до < 1 МОм – 2 ppm; 10 мА и 1 А – 10 ppm; 100 мА – 40 ppm.
- Скорости указаны для работы в сети 60 Гц при заводских установках по умолчанию ("RST"): автоматический выбор диапазона выкл., отображение на дисплее выкл., задержка запуска = 0.
- Скорости учитывают время измерения и передачи двоичных данных через интерфейс GPIB.
- Автоматическая коррекция нуля выкл.
- Число отсчетов = 1024, автоматическая коррекция нуля выкл.
- Автоматическая коррекция нуля выкл., NPLC = 0,01.
- Измерение сопротивлений со скоростью 24 отсчета в секунду.
- 1 PLC = 16,67 мс при 60 Гц, 20 мс при 50 Гц/400 Гц. Частота определяется автоматически при включении электропитания.
- Для уровней сигнала > 500 В следует прибавить погрешность 0,02 ppm/В для доли сигнала, превышающей 500 В.
- При измерении сопротивлений следует прибавить 12 мс.
- Сопротивление проводников, подключенных ко входам высокого и низкого потенциала, должно быть в пределах 10%.
- Для колебаний частоты питающей сети $\pm 0,1\%$.
- Для несбалансированного сопротивления 1 кОм в проводе низкого потенциала.
- Относительно погрешности, указанной при калибровке.
- Технические характеристики для 4-проводных измерений сопротивлений. Для 2-проводных измерений сопротивлений следует прибавить дополнительную погрешность 1 Ом.
- Для входов на задней панели следует прибавить следующие значения к погрешности температурного коэффициента «ppm от показаний»: 10 МОм – 95 ppm, 100 МОм – 900 ppm. Условия эксплуатации: диапазон рабочих температур от 0 до 50 °C, отн. влажность 50% при 35 °C.

Технические характеристики модели 2000 (продолжение)

Технические характеристики при измерении переменного напряжения и тока (истинные среднеквадратические значения)

ДИАПАЗОН НАПРЯЖЕНИЯ	РАЗРЕШЕНИЕ	ПЕРИОДИЧНОСТЬ КАЛИБРОВКИ	ПОГРЕШНОСТЬ ¹ : ± (% от показаний + % от диапазона), 23 °C ± 5 °C				
			3 Гц – 10 Гц ¹⁰	10 Гц – 20 кГц	20 кГц – 50 кГц	50 кГц – 100 кГц	100 кГц – 300 кГц
100,0000 мВ	0,1 мкВ	90 дней	0,35 + 0,03	0,05 + 0,03	0,11 + 0,05	0,60 + 0,08	4 + 0,5
1,000000 В	1,0 мкВ						
10,00000 В	10 мкВ						
100,0000 В	100 мкВ	1 год	0,35 + 0,03	0,06 + 0,03	0,12 + 0,05	0,60 + 0,08	4 + 0,5
750,000 В	1 мВ						
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ /°C ⁸			0,035 + 0,003	0,005 + 0,003	0,006 + 0,005	0,01 + 0,006	0,03 + 0,01
ДИАПАЗОН ТОКА	РАЗРЕШЕНИЕ	ПЕРИОДИЧНОСТЬ КАЛИБРОВКИ	3 Гц – 10 Гц	10 Гц – 3 кГц	3 кГц – 5 кГц		
1,000000 А	1 мкА	90 дней/1 год	0,30 + 0,04	0,10 + 0,04	0,14 + 0,04		
3,00000 А ⁹	10 мкА	90 дней/1 год	0,35 + 0,06	0,15 + 0,06	0,18 + 0,06		
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ /°C ⁸			0,035 + 0,006	0,015 + 0,006	0,015 + 0,006		

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ПРИ ВЫСОКОМ ПИК-ФАКТОРЕ, ±(% ОТ ПОКАЗАНИЙ)⁷

ПИК-ФАКТОР:	1–2	2–3	3–4	4–5
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ:	0,05	0,15	0,30	0,40

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ ПЕРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ²

ФУНКЦИЯ	КОЛ-ВО РАЗРЯДОВ	ОТСЧЕТОВ/с	СКОРОСТЬ	ПОЛОСА ЧАСТОТ
Переменное напряжение (все диапазоны) и переменный ток (все диапазоны)	6½ ³	2 с/отсчет	МЕДЛЕННО	3 Гц – 300 кГц
	6½ ²	1,4	УМЕРЕННО	30 Гц – 300 кГц
	6½ ³	2,2	УМЕРЕННО	30 Гц – 300 кГц
	6½ ²		БЫСТРО	300 Гц – 300 кГц
	6½ ³	35	БЫСТРО	300 Гц – 300 кГц

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ НА НИЗКИХ ЧАСТОТАХ, ± (% ОТ ПОКАЗАНИЙ)

	СКОРОСТЬ СЧИТЫВАНИЯ (Rate)		
	SLOW (медленная)	MED (средняя)	FASTi (быстрая)
20 Гц – 30 Гц	0	0,3	–
30 Гц – 50 Гц	0	0	–
50 Гц – 100 Гц	0	0	1,0
100 Гц – 200 Гц	0	0	0,18
200 Гц – 300 Гц	0	0	0,10
> 300 Гц	0	0	0

БЫСТРОДЕЙСТВИЕ СИСТЕМЫ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПЕРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ^{2,5}

ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ ФУНКЦИИ/ДИАПАЗОНА⁴: 4/с.

ВРЕМЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫБОРА ДИАПАЗОНА: < 3 с.

ПЕРЕДАЧА ОТСЧЕТОВ В КОДАХ ASCII ЧЕРЕЗ RS-232 (19,2 кбод)⁴: 50/с.

МАКС. ЧАСТОТА ВНУТРЕННЕГО ЗАПУСКА⁴: 300/с.

МАКС. ЧАСТОТА ВНЕШНЕГО ЗАПУСКА⁴: 300/с.

ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПЕРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ

ВХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ: 1 МОм ± 2%, параллельная емкость < 100 пФ.

ЗАЩИТА ВХОДА ОТ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ: 1000 В (пик.)

МАКСИМАЛЬНОЕ ПОСТОЯННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ: 400 В на любом диапазоне измерения переменного напряжения.

ЗАЩИТА ВХОДА ПО ПЕРЕМЕННОМУ ТОКУ: предохранитель 3 А, 250 В.

ПАДЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ: диапазон 1 А – < 0,3 В (среднеквадратич. значение), диапазон 3 А – < 1 В (среднеквадратич. значение).

СОПРОТИВЛЕНИЕ ШУНТА: 0,1 Ом на всех диапазонах измерения переменного тока.

SMRR ДЛЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА: > 70 дБ (с сопротивлением 1 кОм в проводе низкого потенциала).

МАКСИМАЛЬНЫЙ ПИК-ФАКТОР: 5 для полной шкалы.

ПРОИЗВЕДЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА ЧАСТОТУ: ≤ 8 × 10⁷ В·Гц

ВЫХОД ЗА ПРЕДЕЛЫ ДИАПАЗОНА: 120% от диапазона, кроме диапазонов 750 В и 3 А.

ПРИМЕЧАНИЯ К ИЗМЕРЕНИЮ ПЕРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ

1. Технические параметры для МЕДЛЕННОЙ скорости (Rate=Slow) и синусоидального входного сигнала амплитудой > 5% от диапазона.
2. Скорости указаны для работы в сети 60 Гц при заводских установках по умолчанию (*RST): автоматическая коррекция нуля выкл., автоматический выбор диапазона выкл., отображение на дисплее выкл., учитывает время измерений и передачу двоичных данных через GPIB.
3. 0,01% от ошибки задания шага. Задержка запуска 400 мс.
4. Задержка запуска = 0.
5. DETector: BANDwidth = 300, NPLC = 0,01.
6. Максимальное используемая задержка запуска 175 мс.
7. Применимо к несинусоидальным сигналам > 5 Гц и < 500 Гц (гарантируется для пик-фактора > 4,3).
8. Применимо при 0 – 18 °C и 28 °C – 50 °C
9. Для уровней сигналов > 2,2 А следует прибавить дополнительно 0,4% к погрешности «от показаний».
10. Типовые неопределенности измерений. Типовые значения означают, что 95% (станд. отклонение «два сигма») изготовленных приборов покажут результаты < 0,35% от показаний и 99,7% (станд. отклонение «три сигма») покажут результаты < 1,06% от показаний.

ЗАПУСК И ПАМЯТЬ

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ УДЕРЖАНИЯ ПОКАЗАНИЙ: 0,01%, 0,1%, 1% или 10% показаний.

ЗАДЕРЖКА ЗАПУСКА: от 0 до 99 часов (шаг 1 мс).

ЗАДЕРЖКА ВНЕШНЕГО ЗАПУСКА: 200 мкс + джиттер < 300 мкс при выкл. автоматической коррекции нуля и задержке запуска = 0.

ПАМЯТЬ: 1024 отсчетов.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ

Относительное значение, мин./макс./среднее/стандартное. отклонение (от сохраненного значения), дБ, дБм, предел измерений, % и mX + b с определяемыми пользователем отображаемыми единицами измерения.

ЭТАЛОННЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ дБм: от 1 до 9999 Ом с шагом 1 Ом.

СТАНДАРТНЫЕ ЯЗЫКИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

SCPI (стандартные команды для программируемых приборов)

Keithley 196/199

Fluke 8840A, Fluke 8842A

ВНЕШНИЕ ИНТЕРФЕЙСЫ

GPIO (IEEE-488.1, IEEE-488.2) и RS-232C.

ПАРАМЕТРЫ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ЧАСТОТЕ И ПЕРИОДУ^{1, 2}

Диапазон измерения переменного напряжения	Частотный диапазон	Диапазон периодов	Время стробирования	Разрешение $\pm$ (ppm от показаний)	Погрешность 90 дней/1 год $\pm$ (% от показаний)
От 100 мВ до 750 В	от 3 Гц до 500 кГц	от 333 мс до 2 мкс	1 с (Rate=Slow)	0,3	0,01

ПРИМЕЧАНИЯ К ИЗМЕРЕНИЮ ЧАСТОТЫ

- Технические характеристики только для меандра. Входной сигнал должен иметь амплитуду > 10% от диапазона измерения переменного напряжения. При входном сигнале < 20 мВ в диапазоне 100 мВ частота должна быть > 10 Гц.
- Выход за пределы диапазона 20% для всех диапазонов, кроме диапазона 750 В.

Температурные характеристики

Термопара^{2, 3, 4}

Тип	Диапазон	Разрешение	Погрешность ¹ 90 дней/1 год, (23 °C $\pm$ 5 °C)	
			По отношению к «холодному» спаю	С использованием 2001-TCSCAN ⁵
J	от -200 °C до +760 °C	0,001 °C	$\pm 0,5$ °C	$\pm 0,65$ °C
K	от -200 °C до +1372 °C	0,001 °C	$\pm 0,5$ °C	$\pm 0,70$ °C
T	от -200 °C до +400 °C	0,001 °C	$\pm 0,5$ °C	$\pm 0,68$ °C

ПРИМЕЧАНИЯ К ИЗМЕРЕНИЮ ТЕМПЕРАТУРЫ

- Для температур < -100 °C следует прибавить $\pm 0,1$ °C, для температур > 900 °C следует прибавить $\pm 0,3$ °C.
- Температура может отображаться в °C, К или °F.
- Погрешность на основе ITS-90.
- Без учета погрешности термопары.
- Технические характеристики справедливы для каналов 2–6. Прибавьте 0,06 °C/канал для каналов с номером 6 и более.

ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ: 100 В/120 В/220 В/240 В.

ЧАСТОТА ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ: 50 Гц, 60 Гц и 400 Гц, автоматически определяется при включении питания.

ПОТРЕБЛЯЕМАЯ МОЩНОСТЬ: 22 ВА.

ПРОИЗВЕДЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА ЧАСТОТУ: $\leq 8 \times 10^7$ В·Гц

УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ: диапазон рабочих температур от 0 до 50 °C, отн. влажность 80% при 35 °C и высоте над уровнем моря до 2000 м.

УСЛОВИЯ ХРАНЕНИЯ: от -40 °C до +70 °C.

БЕЗОПАСНОСТЬ: соответствует Директиве Европейского союза по низковольтному оборудованию.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ: соответствует Директиве Европейского союза по электромагнитной совместимости.

ПРОГРЕВ: 1 час для достижения номинальной точности.

ВИБРАЦИЯ: M11-PRF-2800F класс 3, произвольная.

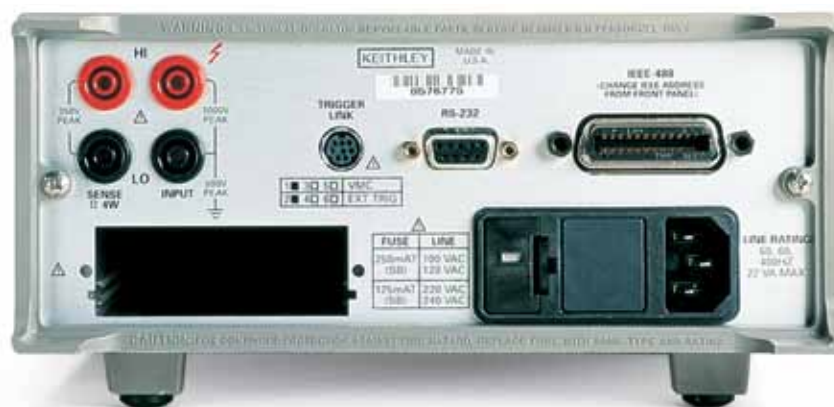
РАЗМЕРЫ

Монтаж в стойку: (высота $\times$ ширина $\times$ глубина) 89х213х370 мм (3,5 х 8,38 х 14,56 дюймов).

Настольная модификация (с ручкой и ножками): (высота $\times$ ширина $\times$ глубина) 104х238х370 мм.

МАССА ЧЕТКО: 2,9 кг.

МАССА БРУТТО: 5 кг.



Задняя панель модели 2000

Краткие технические характеристики моделей 2001 и 2002

Краткие технические характеристики модели 2001

ПОСТОЯННОЕ НАПЯЖЕНИЕ

ДИАПАЗОН	РАЗРЕШЕНИЕ	ВХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ	ПОГРЕШНОСТЬ $\pm$ (ppm от показаний + ppm от диапазона), 90 дней
200 мВ	10 нВ	> 10 ГОм	25 + 6
2 В	100 нВ	> 10 ГОм	18 + 2
20 В	1 мкВ	> 10 ГОм	18 + 4
200 В	10 мкВ	10 МОм $\pm$ 1%	27 + 3
1000 В	100	10 МОм $\pm$ 1%	31 + 6

СОПРОТИВЛЕНИЕ

ДИАПАЗОН	РАЗРЕШЕНИЕ	ИСТОЧНИК ТОКА	ПОГРЕШНОСТЬ $\pm$ (ppm от показаний + ppm от диапазона), 90 дней
20 Ом	1 мКОм	9,2 мА	52 + 7
200 Ом	10 мКОм	0,98 мА	36 + 7
2 кОм	100 мКОм	0,98 мА	33 + 4
20 кОм	1 МОм	89 мкА	32 + 4
200 кОм	10 МОм	7 мкА	72 + 4,5
2 МОм	100 МОм	770 нА	110 + 4,5
20 МОм	1 Ом	70 нА	560 + 4,5
200 МОм	10 Ом	4,4 нА	10000 + 100
1 ГОм	100 Ом	4,4 нА	20000 + 100

ПОСТЯННЫЙ ТОК

ДИАПАЗОН	РАЗРЕШЕНИЕ	МАКСИМАЛЬНОЕ ПАДЕНИЕ НАПЯЖЕНИЯ	ПОГРЕШНОСТЬ $\pm$ (ppm от показаний + ppm от диапазона), 90 дней
200 мкА	10 пА	0,25 В	300 + 25
2 мА	100 пА	0,31 В	300 + 20
20 мА	1 нА	0,4 В	300 + 20
200 мА	10 нА	0,5 В	300 + 20
2 А	100 нА	1,5 В	600 + 20

Краткие технические характеристики модели 2002

ПОСТОЯННОЕ НАПЯЖЕНИЕ

ДИАПАЗОН	РАЗРЕШЕНИЕ	ВХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ	ПОГРЕШНОСТЬ $\pm$ (ppm от показаний + ppm от диапазона), 90 дней
200 мВ	1 нВ	> 100 ГОм	15 + 8
2 В	10 нВ	> 100 ГОм	6 + 0,8
20 В	100 нВ	> 100 ГОм	6 + 0,15
200 В	1 мкВ	10 МОм $\pm$ 1%	14 + 2
1000 В	10 мкВ	10 МОм $\pm$ 1%	14 + 0,4

СОПРОТИВЛЕНИЕ

ДИАПАЗОН	РАЗРЕШЕНИЕ	ИСТОЧНИК ТОКА	ПОГРЕШНОСТЬ $\pm$ (ppm от показаний + ppm от диапазона), 90 дней
20 Ом	100 нОм	7,2 мА	15 + 6
200 Ом	1 мКОм	960 мкА	15 + 4
2 кОм	10 мКОм	960 мкА	7 + 0,4
20 кОм	100 мКОм	96 мкА	7 + 0,4
200 кОм	1 МОм	9,6 мкА	29 + 0,8
2 МОм	10 МОм	1,9 мкА	53 + 0,5
20 МОм	100 МОм	1,4 мкА	175 + 0,6
200 МОм	1 Ом	1,4 мкА	500 + 3
1 ГОм	10 Ом	1,4 мкА	200 + 15

ПОСТЯННЫЙ ТОК

ДИАПАЗОН	РАЗРЕШЕНИЕ	МАКСИМАЛЬНОЕ ПАДЕНИЕ НАПЯЖЕНИЯ	ПОГРЕШНОСТЬ $\pm$ (част. на млн от показаний + част. на млн от диапазона), 90 дней
200 мкА	10 пА	0,25 В	275 + 25
2 мА	100 пА	0,3 В	275 + 20
20 мА	1 нА	0,35 В	275 + 20
200 мА	10 нА	0,35 В	300 + 20
2 А	100 нА	1,1 В	600 + 20

ЧАСТОТОМЕР

ВХОД ПЕРЕМЕННОГО НАПЯЖЕНИЯ: 1 Гц – 15 МГц

ПОГРЕШНОСТЬ: $\pm$ (0,03% от показаний).

ВНУТРЕННИЙ ПОСТОЯННЫЙ ТОК

ДИАПАЗОН ТОКА: от 100 мкА до 12 А

ПОГРЕШНОСТЬ: $\pm$ (5% + 2 единицы последнего десятичного разряда) в течение 2 лет.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ДОРОЖКИ: тип. зн. от 1 МОм до 10 Ом.

ТЕМПЕРАТУРА

Встроенная линейаризация для термопар типов J, K, N, T, E, R, S и В в соответствии с ITS-90 и платиновых терморезисторов номиналом 100 Ом в соответствии с DIN 43 760 или IPTS-68.

Полные технические характеристики приведены в техническом паспорте модели 2001 или 2002.

ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ/СООТВЕТСТВИЕ СТАНДАРТАМ

ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ

Напряжение: 90–134 В и 180–250 В с автоматическим выбором диапазона.

Частота: 50 Гц, 60 Гц или 400 Гц с автоматическим выбором

Потребляемая мощность: < 55 ВА.

УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Рабочий диапазон температур: от 0 до 50 °С.

Диапазон температур хранения: от –40 °С до +70 °С.

Влажность: отн. 80% при температуре от 0 до 35 °С.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Размеры корпуса: (высота x ширина x глубина) 90x214x369 мм.

Масса нетто: < 4,2 кг.

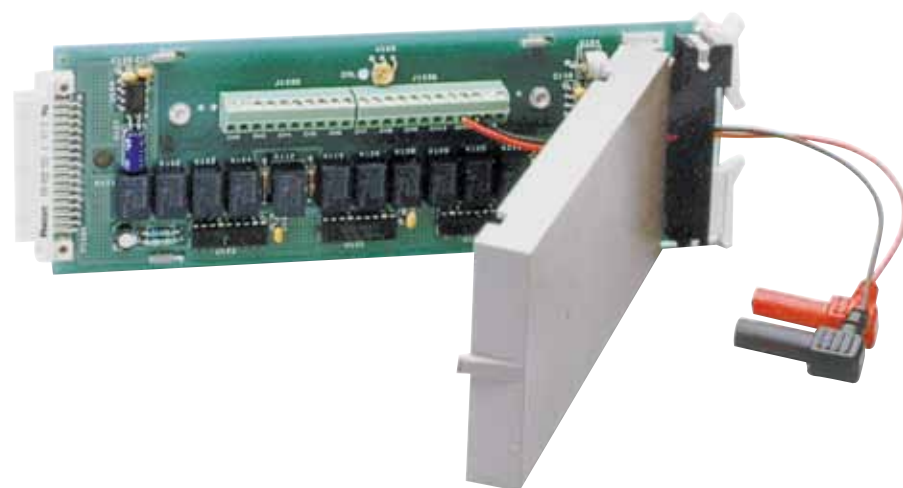
СООТВЕТСТВИЕ СТАНДАРТАМ

ЭМП/радиопомехи: соответствует Директиве Европейского союза по электромагнитной совместимости.

Безопасность: соответствует Директиве Европейского союза по низковольтному оборудованию.

Расширенные возможности сканирования каналов при многоканальных измерениях

Платы мультиплексоров для мультиметров серии 2000



- Модель 2000-SCAN: плата 10-канального мультиплексора со сканированием каналов.
- Модель 2001-SCAN: плата 10-канального мультиплексора со сканированием каналов и двумя высокоскоростными каналами.
- Модель 2001-TCSCAN: плата 9-канального мультиплексора для термопар со сканированием каналов.

С цифровыми мультиметрами моделей 2001, 2002 и 2010 могут быть использованы три модели подключаемых платы мультиплексоров с возможностью сканирования каналов. Нужная плата вставляется в слот расширения на задней панели цифрового мультиметра и позволяет преобразовать мультиметр в многоканальную контрольно-измерительную систему, хорошо приспособленную для задач, требующих до десяти измерительных каналов. Сочетание возможностей сканирования и измерения в одном приборе устраняет необходимость в дополнительном коммутационном оборудовании, упрощает запуск, синхронизацию и обработку данных и позволяет существенно сократить время тестирования.

Быстродействующий анализатор цепей и сигналов аудиодиапазона в полнофункциональном цифровом мультиметре

Модели 2015 и 2016: цифровые мультиметры для измерения параметров гармонических искажений в диапазоне от 20 Гц до 20 кГц

Модели 2015-P и 20016-P: цифровые мультиметры для анализа аудиосигналов

Эти приборы сочетают возможности измерения параметров и анализа качества сигналов звукового диапазона со всеми функциями цифровых 6½-разрядных мультиметров. Этот компактный измерительный прибор шириной в половину 19"-стойки позволяет выполнять широкий спектр измерений напряжений,

- Измерения THD, THD + шум и SINAD.
- Генератор гармонического сигнала 20 Гц – 20 кГц.
- Быстрая развертка по частоте.
- 2015-P, 2016-P: определение пиковых спектральных компонент.
- 2015, 2015-P: выход генератора 4 В униполярного сигнала или 8 В для дифференциального сигнала (среднеквадратич. значение).
- 2016, 2016-P: выход генератора 9,5 В униполярного сигнала или 19 В для дифференциального сигнала (среднеквадратич. значение).
- Измерения амплитуд отдельных гармоник.
- 5 стандартных аудиофильтров.
- 13 функций цифрового 6½-разрядного мультиметра.

сопротивлений, токов, частоты и искажений. Модели 2016 и 2016-P имеют выходы генератора синусоидального сигнала с удвоенной амплитудой по сравнению с моделью 2015, что важно для задач, требующих тестовых сигналов со среднеквадратическим значением амплитуды более 8 В. Модели 2015-P и 2016-P обладают дополнительной возможностью обработки данных для анализа спектра частот. Для таких задач, как оценка нелинейных искажений, вносимых элементами, устройствами или системами, обработка данных с помощью цифрового сигнального процессора (DSP) позволяет моделям 2015, 2015-P, 2016 и 2016-P проводить анализ в частотной области, хотя приборы данного класса обычно предназначены для анализа во временной области. Они позволяют измерять коэффициент гармонических искажений THD во всем звуковом диапазоне от 20 Гц до 20 кГц. Кроме



того, они дают возможность проводить измерения в широком диапазоне напряжений (со среднеквадратическим значением до 750 В) и имеют малые остаточные искажения (–87 дБ). Помимо THD модели 2015, 2015-P, 2016 и 2016-P позволяют рассчитывать значения THD + шум и SINAD.

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

безопасные измерительные кабели модели 1751;
руководство пользователя, руководство по техническому обслуживанию.



Высокое разрешение, малый уровень шума и высокая повторяемость измерений

- Разрешение 7½ разрядов.
- Уровень входного шума 100 нВ (среднеквадратич.).
- Повторяемость измерений постоянного напряжения 7 ppm.
- Возможность установки 10-канальной платы мультиплексора с автоматическим сканированием каналов.
- Режимы измерения при малых токах и напряжениях (dry circuit) и при малой мощности в нагрузке.
- 15 измерительных функций, в том числе измерение температуры с помощью терморезисторов и термопар.
- Встроенная функция измерения отношений.

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

безопасные измерительные кабели модели 1751;
руководство пользователя, руководство по техническому обслуживанию.

Модель 2010:
малошумящий
цифровой
7½-разрядный
мультиметр с
автоматическим
выбором диапазона



Цифровой мультиметр модели 2010 сочетает в себе высокое разрешение с быстродействием и точностью, необходимыми в производственных условиях, например при тестировании точных датчиков и измерительных преобразователей, аналогово-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей, регуляторов, опорных генераторов, соединителей, переключателей и реле. Модель 2010 имеет 15 встроенных измерительных функций, в том числе измерения постоянных и переменных напряжений, постоянных и переменных токов, измерения сопротивлений по двух- и четырехпроводной схеме, измерения сопротивлений с малым током и малым падением напряжения на нагрузке (dry circuit), измерения температуры при помощи терморезисторов и термопар, частоты, периода, отношения, проверки целостности цепей и тестирования диодов. Модель 2010 имеет набор функций для эффективного измерения всех необходимых параметров, в частности, сопротивления, линейности, изоляции контактов, соединителей, реле и других коммутационных элементов. Эти функции включают режим измерения сопротивления при пониженной мощности, тестирование с малым током и малым падением напряжения на нагрузке (dry circuit), функцию измерения сопротивлений с компенсацией смещения и расширенный диапазон измерения сопротивлений.

Цифровой многоканальный 6½-разрядный мультиметр с интерфейсом Ethernet

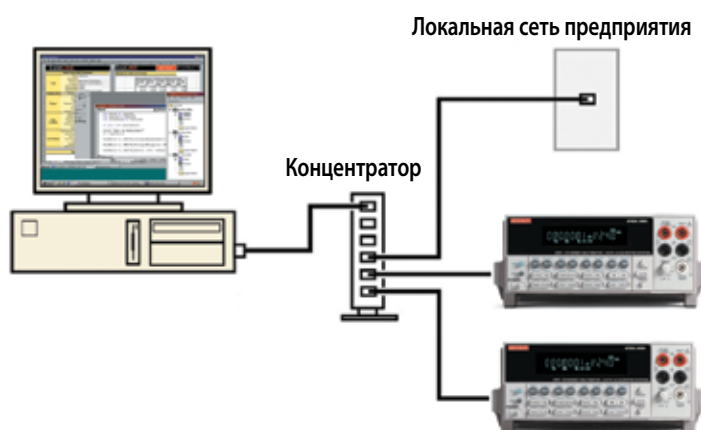
Цифровой мультиметр и система сбора данных серии 2701 (Integra)



- Выполняет функции цифрового мультиметра, системы коммутации и регистратора данных.
- Истинное разрешение 6½ разрядов (22 бита).
- Возможность установки одного или двух из 12 видов сменных коммутационных или управляющих модулей.
- До 80 входных дифференциальных каналов (с изоляцией 300 В) для измерения и управления.
- Наличие внутренних (для модулей коммутации) и удобных внешних входов мультиметра на лицевой панели.
- Бесплатные драйверы для LabVIEW®, LabWindows/CVI, Visual Basic и C/C++ (типа IVI).
- Возможность обмена данными через интерфейсы Ethernet, RS-232.
- Бесплатное программное обеспечение ExcelINX™-1A для регистрации данных на основе Microsoft Excel.

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

драйверы для LabVIEW, LabWindows/CVI, Visual Basic и C/C++;
руководство по эксплуатации;
безопасные измерительные кабели модели 1751.



Цифровой мультиметр и система сбора данных модели 2701 с интерфейсом Ethernet – это первое средство измерения метрологического класса, сочетающее в себе высочайшую достоверность измерений и возможность управления и обмена данными в информационных сетях. Построенная на основе современного 22-разрядного интегрирующего АЦП, модель 2701 имеет разрешение 6½ разрядов и подключается к сети непосредственно через интерфейс Ethernet, как и любой компьютер.

Модель 2701 увеличивает производительность и снижает стоимость выполнения измерений и тестирования на производстве, в лабораториях контроля качества и отделах исследований и разработок. Она подключается к локальной сети предприятия и обеспечивает стабильные измерения в зашумленных производственных условиях и в распределенных системах сбора данных.

В зависимости от используемых коммутационных и управляющих модулей 77xx компании Keithley каждая модель 2701 может иметь до 80 дифференциальных входных каналов. Каждый канал обеспечивает встроенную нормализацию сигнала, изоляцию 300 В и может быть независимо настроен для выполнения любой из 14 функций измерения или управления.

Цифровые многоканальные 6½-разрядные мультиметры

Цифровые мультиметры и системы сбора данных серий 2700 и 2750 (Integra)



Модели 2700 и 2750 обеспечивают выполнение точных измерений, коммутации сигналов и управления и имеют высокую степень аппаратной интеграции в одной корпусе, позволяющую использовать их как в настольном варианте, так и в аппаратной стойке. Эти модели служат высокоэффективными и высококачественными испытательными платформами, представляющими собой доступную альтернативу отдельным цифровым мультиметрам и системам коммутации, устройствам записи и регистрации данных, платам сбора данных и системам на основе VXI/PXI. Расширяющаяся серия сменных коммутационных и управляющих модулей обеспечивает непревзойденную универсальность и эффективность тестирования для различных отраслей промышленности и широкого круга задач. На основе моделей 2750 и 2751 возможно создание систем тестирования с числом каналов, удельной стоимостью канала и эффективностью, недостижимыми для любой другой однокорпусной измерительной системы. Сменные модули обладают гибкостью, достаточной для подключения от 20 до 200 двухпроводных измерительных каналов, для подачи испытательных напряжений и зондирующих токов к тестируемому устройству, распределения сигналов, управления компонентами системы и проведения прецизионных измерений с использованием 14 встроенных функций. Функциональные возможности цифровых линий ввода-вывода могут использоваться для передачи триггерных сигналов, квитирования этапов тестирования при взаимодействии с внешним автоматизированным оборудованием и для сигнализации при достижении установленных порогов. Скорости сканирования более 200 каналов в секунду при скорости измерений до 2500 отсчетов в секунду обеспечивают высокую производительность тестирования.



Принадлежности, входящие в комплект поставки:

драйверы для LabVIEW, LabWindows/CVI, Visual Basic и C/C++;
руководство по эксплуатации;
безопасные измерительные кабели модели 1751.

- Выполняют функции цифрового мультиметра, системы коммутации и регистратора данных.
- Истинное разрешение 6½ разрядов (22 бита).
- Возможность выбора любой комбинации сменных модулей коммутации и управления из 12 возможных видов.
- До 200 дифференциальных входных каналов (изоляция 300 В) для использования в задачах измерения и управления.
- Наличие внутренних (для модулей коммутации) и удобных внешних входов мультиметра на лицевой панели.
- Бесплатные драйверы для LabVIEW®, LabWindows/CVI, Visual Basic и C/C++ (типа IVI).
- Возможность обмена данными через интерфейсы GPIB и RS-232.
- Бесплатное программное обеспечение ExcelINX™-1A для регистрации данных на основе Microsoft Excel.

Сравнительная таблица коммутационных и управляющих модулей для систем 2700, 2701 и 2750

Модуль	Кол-во дифференциальных аналоговых входов	Конфигурация	2- или 4-проводные каналы	Тип разъема	Макс. напряжение	Макс. коммутируемый ток	Время единичной коммутации	Прочее
7700	20	Мультиплексор с компенсацией температуры «холодного» спая	1x20 или два 1x10	Винтовые клеммы	300 В	1 А	< 3 мс	Автоматическая компенсация температуры «холодного» спая
7701	32	Мультиплексор	1x32 или два 1x16	D-sub (IDC)	150 В	1 А	< 3 мс	Возможность конфигурирования для получения 32 4-проводных каналов измерения сопротивлений с общей цепью зондирующего тока
7702	40	Мультиплексор	1x40 или два 1x20	Винтовые клеммы	300 В	1 А	< 3 мс	Макс. мощность 125 ВА. Имеет 2 канала для тока до 3 А.
7703	32	Мультиплексор с герконовыми реле	1x32 или два 1x16	D-sub (паяный или обжатый)	300 В	500 мА	< 1 мс	Герконовые реле
7705	-	40 каналов независимых однополюсных ключей (SPST)	-	D-sub (паяный или обжатый)	300 В	2А	< 3 мс	Возможность перепрограммирования на двухканальный переключатель
7706	20	Мультиплексор с компенсацией температуры «холодного» спая + аналоговый выход + цифровые выходы + частотомер/сумматор	1x20 или два 1x10	Винтовые клеммы	300 В	1 А	< 3 мс	Два аналоговых выхода ± 12 В, частотомер до 100 кГц и 16 цифровых выходов
7707	10	Цифровые линии ввода-вывода + мультиплексор	1x10 или два 1x5	D-sub (IDC)	300 В	1 А	< 3 мс	32 цифровых линии ввода-вывода (33 В, 100 мА)
7708	40	Мультиплексор с компенсацией температуры «холодного» спая	1x40 или два 1x20	Винтовые клеммы	300 В	1 А	< 3 мс	Автоматическая компенсация температуры «холодного» спая
7709	48	Матрица 6x8	2- или 4-проводные каналы	D-sub (IDC)	300 В	1 А	< 3 мс	Последовательное подключение для формирования больших матриц
7710	20	Мультиплексор на твердотельных переключателях, компенсация температуры «холодного» спая	1x20 или два 1x10	Съемные винтовые клеммы	60 В	0,1 А	< 0,5 мс	Большой срок службы переключателей, высокое быстродействие до 500 каналов/с
		Вносимые потери	КСВН	Перекрестные помехи				
7711	Два мультиплексора 1x4 до 2 ГГц	< 1,0 дБ	< 1,2	< -55 дБ	SMA	60 В	0,5 А	< 10 мс
7712	Два мультиплексора 1 x 4 до 3,5 ГГц	< 1,1 дБ	< 1,45	< -50 дБ	SMA	42 В	0,5 А	< 10 мс

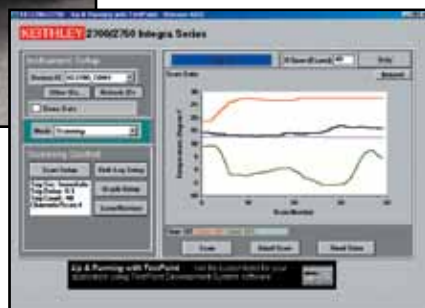
1



2



3



Шаг 1. Вставить один или несколько модулей.

Шаг 2. Подключить тестируемое устройство.

Шаг 3. Запустить программное обеспечение.

Краткие технические характеристики моделей 2700, 2701 и 2750

ИЗМЕРЕНИЯ ПО ПОСТОЯННОМУ ТОКУ

УСЛОВИЯ: средняя скорость «MED» (1 PLC), или 10 PLC, или «MED» (1 PLC)
с цифровым 10-точечным фильтром

Функция	Диапазон	Разрешение	Измерительный ток ± 5% или падение напряжения	Входное сопротивление или напряжение на разомкнутой цепи		Погрешность: ±(ppm от показаний + ppm от диапазона) (10 ppm = 0,001%)			Дополнительная температурная по- грешность 0–18 °C и 28 °C – 50 °C
				2700/2701	2750	24 часа, 23 °C ±1 °C	90 дней, 23 °C ±5 °C	1 год, 23 °C ±1 °C	
Напряжение	100,0000 мВ	0,1 мкВ		> 10 ГОм	> 10 ГОм	15 + 30	25 + 35	30 + 35	(1 + 5)/°C
	1,000000 В	1,0 мкВ		> 10 ГОм	> 10 ГОм	15 + 6	25 + 7	30 + 7	(1 + 1)/°C
	10,00000 В	10 мкВ		> 10 ГОм	> 10 ГОм	10 + 4	20 + 5	30 + 5	(1 + 1)/°C
	100,0000 В	100 мкВ		10 МОм ± 1%	10 МОм ± 1%	15 + 6	35 + 9	45 + 9	(5 + 1)/°C
	1000,000 В	1 мВ		10 МОм ± 1%	10 МОм ± 1%	20 + 6	35 + 9	50 + 9	(5 + 1)/°C
Сопротивление	1,000000 Ом	1 мкОм	10 мА		5,9 В	80 + 40	80 + 40	100 + 40	(8 + 1)/°C
	10,00000 Ом	10 мкОм	10 мА		5,9 В	20 + 20	80 + 20	100 + 20	(8 + 1)/°C
	100,0000 Ом	100 мкОм	1 мА	6,9 В	12,2 В	20 + 20	80 + 20	100 + 20	(8 + 1)/°C
	1,000000 кОм	1 мОм	1 мА	6,9 В	12,2 В	20 + 6	80 + 6	100 + 20	(8 + 1)/°C
	10,00000 кОм	10 мОм	100 мкА	6,9 В	6,8 В	20 + 6	80 + 6	100 + 6	(8 + 1)/°C
	100,0000 кОм	100 мОм	10 мкА	12,8 В	12,8 В	20 + 6	80 + 10	100 + 10	(8 + 1)/°C
	1,000000 МОм	1,0 Ом	10 мкА	12,8 В	12,8 В	20 + 6	80 + 10	100 + 10	(8 + 1)/°C
	10,00000 МОм	10 Ом	0,7 мкА/10 МОм	7,0 В	7,0 В	150 + 6	200 + 10	400 + 10	(70 + 1)/°C
	100,0000 МОм	100 Ом	0,7 мкА/10 МОм	7,0 В	7,0 В	800 + 30	2000 + 30	2000 + 30	(385 + 1)/°C
	1,000000 Ом	1 мкОм	10 мА		20 мВ	80 + 40	80 + 40	100 + 40	(8 + 1)/°C
Измерение сопротивления в режиме «dry circuit»	10,00000 Ом	10 мкОм	1 мА		20 мВ	25 + 40	80 + 40	100 + 40	(8 + 1)/°C
	100,0000 Ом	100 мкОм	100 мкА		20 мВ	25 + 40	90 + 40	140 + 40	(8 + 1)/°C
	1,000000 кОм	1 мОм	10 мкА		20 мВ	25 + 90	180 + 90	400 + 90	(8 + 1)/°C
	1,000 кОм	100 мОм	1 мА	6,9 В	12,2 В	40 + 100	100 + 100	100 + 100	(8 + 1)/°C
Целостность цепей (2-прово- дная схема)	20,00000 мА	10 нА	< 0,2 В			60 + 30	300 + 80	500 + 80	(50 + 5)/°C
	100,0000 мА	100 нА	< 0,1 В			100 + 300	300 + 800	500 + 800	(50 + 50)/°C
	1,000000 А	1,0 мкА	< 0,5 В			200 + 30	500 + 80	800 + 80	(50 + 5)/°C
	3,000000 А	10 мкА	< 1,5 В			1000 + 15	1200 + 40	1200 + 40	(50 + 5)/°C
Канал (относительная)				Относительная погрешность = погрешность для диапазона основного канала + погрешность для диапазона дополнительного канала					
Канал (среднее)				Средняя погрешность = для диапазона основного канала + погрешность для диапазона дополнительного канала					

ТЕМПЕРАТУРА

Отображается в °C, °F или К. Погрешности датчиков не учитываются

Погрешности терморезисторных измерений (согласно ITS-90)		90 дней/1 год (23 °C ± 5 °C)		Дополнительная температурная погрешность 0–18 °C и 28 °C – 50 °C
Тип	Диапазон	Разрешение	По отношению к эмулируемому эталонному спаю	
J	от –200 °C до +760 °C	0,001 °C	0,2 °C	1,0 °C
K	от –200 °C до +1372 °C	0,001 °C	0,2 °C	1,0 °C
N	от –200 °C до +1300 °C	0,001 °C	0,2 °C	1,0 °C
T	от –200 °C до +400 °C	0,001 °C	0,2 °C	1,0 °C
E	от –200 °C до +1000 °C	0,001 °C	0,2 °C	1,0 °C
R	от 0 до 1768 °C	0,1 °C	0,6 °C	1,8 °C
S	от 0 до 1768 °C	0,1 °C	0,6 °C	1,8 °C
B	от +350 °C до +1820 °C	0,1 °C	0,6 °C	1,8 °C

Погрешности измерений терморезисторами Pt100, D100, F100, PT385, PT3916 или пользова-
тельского типа (4-проводная схема, компенсация смещения включена)

От –200 °C до 630 °C	0,01 °C	0,06 °C	0,003 °C/°C
----------------------	---------	---------	-------------

Погрешности измерений термисторами (2,2 кОм, 5 кОм и 10 кОм)

От –80 °C до 150 °C	0,01 °C	0,08 °C	0,002 °C/°C
---------------------	---------	---------	-------------

БЫСТРОДЕЙСТВИЕ СИСТЕМЫ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПО ПОСТОЯННОМУ ТОКУ

	2700/2750	2701
ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ ДИАПАЗОНОВ (кроме 4-проводных схем измерения сопротивлений)	50/с (42/с)	50/с (42/с)
ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ	50/с (42/с)	50/с (42/с)
ВРЕМЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫБОРА ДИАПАЗОНА	< 30 мс	< 30 мс
ПЕРЕДАЧА ОТСЧЕТОВ В КОДАХ ASCII ЧЕРЕЗ RS-232 (19,2 КБД)	55/с	300/с
МАКС. ЧАСТОТА ВНЕШНЕГО ЗАПУСКА	375/с	2000/с

СКОРОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ПОСТОЯННЫХ СИГНАЛОВ

Для одного канала, частота питающей сети 60 Гц (50 Гц)

ФУНКЦИЯ	КОЛ.РАЗРЯДОВ	ОТСЧЕТОВ/с	PLC
Постоянное напряжение,	6½	5	(4)
постоянный ток, сопро-	6½	35	(28)
тивление (< 10 МОм),	6½	45	(36)
термопара, термистор	5½	150	(120)
	5½	300	(240)
	5½	500	(400)
Только 2701 и 2750	4½	2500	(2000)
Только 2701	3½	3500	(2800)
4-проводная схема	6½	1,4	(1,1)
измерения сопротивлений	6½	15	(12)
(< 10 МОм)	5½	33	(25)
4-проводная схема изме-	6½	0,9	(0,7)
рения сопротивлений, компен-	6½	8	(6,4)
сация нуля, терморезистор	5½	18	(14,4)
Канал (относительное	6½	2,5	(2)
значение)	6½	15	(12)
Канал (среднее значение)	5½	25	(20)

Скорость измерения для нескольких каналов
с записью в память

	Каналов/с		
	2700	2701	2750
7710 – сканирование для измерения постоянного напряжения	180	500	230
7710 – сканирование для измерения постоянного напряжения с заданными пределами или включенной временной меткой	170	500	230
7710 – сканирование для измерения постоянного напряжения, 2-проводная схема измерения сопротивлений с методом реверсивных токов	45	115	60

Скорость измерения для нескольких каналов с запи-
сью в память и из памяти по GPIB или Ethernet

	Каналов/с		
	2700	2701	2750
7702 – сканирование для измерения постоянного напряжения	65	75	65
7700 и 7708 – сканирование для измерения температуры	50	50	50
7710 – сканирование для измерения постоянного напряжения	145	440	210
7710 – для измерения постоянного напряжения с заданными пределами или включенной временной меткой	145	440	210
7710 – сканирование для измерения постоянного напряжения, 2-проводная схема измерения сопротивлений с методом реверсивных токов	40	115	55

Краткие технические характеристики моделей 2700, 2701 и 2750 (продолжение)

ИЗМЕРЕНИЯ ПОСТОЯННЫХ СИГНАЛОВ

ПОСТ. НАПРЯЖЕНИЕ

НЕЛИНЕЙНОСТЬ АЦП: 2,0 ppm от показаний + 1,0 ppm от диапазона.

ВХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Диапазоны от 100 мВ до 10 В: выбираемый > 10 ГОм || и < 400 пФ или 10 МОм ± 1%

Диапазоны 100 В и 1000 В: 10 МОм ± 1%.

«Dry circuit»: 100 кОм ± 1% || < 1 мкФ.

ИЗОЛЯЦИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ЗЕМЛИ: 500 В (пиковое значение), >10 ГОм и < 300 пФ между любым выводом и шасси.

ВХОДНОЙ ТОК СМЕЩЕНИЯ: < 75 пА при 23 °С.

СИНФАЗНЫЙ ТОК: < 500 нА (от пика до пика) при 50 Гц или 60 Гц.

ПОГРЕШНОСТЬ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ НУЛЯ: прибавить ±(2 ppm от погрешности диапазона + 5 мкВ) для времени < 10 минут и температуры ±1 °С.

ЗАЩИТА ВХОДА: 1000 В для всех диапазонов. 300 В для любого сменного модуля.

СОПРОТИВЛЕНИЕ

МАКС. СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОВОДОВ ДЛЯ 4-ПРОВОДНОЙ СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЙ: 80% от диапазона для каждого проводника (режим «dry circuit»). 5 Ом для каждого проводника в диапазоне

1 Ом; 10% от диапазона для каждого проводника в диапазонах 10 Ом, 100 Ом и 1 кОм; 1 кОм для каждого проводника во всех остальных диапазонах.

КОМПЕНСАЦИЯ СМЕЩЕНИЯ: выбираемая для 4-проводной схемы и диапазонов 1 Ом, 10 Ом, 100 Ом, 1 кОм и 10 кОм.

Порог при проверке целостности цепей: регулируемый от 1 Ом до 1000 Ом.

ЗАЩИТА ВХОДА: 1000 В для всех входов источника, 350 В для измерительных входов. 300 В для всех подключаемых модулей.

ПОСТОЯННЫЙ ТОК

СОПРОТИВЛЕНИЕ ШУНТА: 0,1 Ом для диапазонов от 100 мА до 3 А, 5 Ом для диапазона 20 мА.

ЗАЩИТА ВХОДА: предохранитель 3 А, 250 В.

ТЕРМОПАРЫ

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ: согласно ITS-90.

ЭТАЛОННЫЙ СПАЙ: внутренний, внешний или эмулируемый (постоянный).

КОНТРОЛЬ ОБРЫВА ЦЕПИ: порог выбирается для каждого канала. Разомкнуто: > 11,4 кОм ± 200 Ом.

ПАРАМЕТРЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ

Погрешность: ±(% от показаний + % от диапазона), 23 °С ± 5 °С								
Функция	Диапазон	Разрешение	Периодичность калибровки	3 Гц – 10 Гц	10 Гц – 20 кГц	20 кГц – 50 кГц	50 кГц – 100 кГц	100 кГц – 300 кГц
Напряжение	100,0000 мВ	0,1 мкВ	90 дней	0,35 + 0,03	0,05 + 0,03	0,11 + 0,05	0,6 + 0,08	4,0 + 0,5
	1,000000 В	1,0 мкВ	(все диапазоны)					
	10,000000 В	10 мкВ	1 год	0,35 + 0,03	0,06 + 0,03	0,12 + 0,05	0,6 + 0,08	4,0 + 0,5
	100,0000 В	100 мкВ	(все диапазоны)					
	750,000 В	1,0 мВ						
(Температурный коэффициент)/°С				0,035 + 0,003	0,005 + 0,003	0,006 + 0,005	0,01 + 0,006	0,03 + 0,01
Ток	1,000000 А	1,0 мкА	90 дней/1 год	3 Гц – 10 Гц	10 Гц – 3 кГц	3 кГц – 5 кГц		
	3,000000 А	10 мкА		0,30 + 0,04	0,10 + 0,04	0,14 + 0,04		
				0,35 + 0,06	0,16 + 0,06	0,18 + 0,06		
			(Температурный коэффициент)/°С	0,035 + 0,006	0,015 + 0,006			
				(3 Гц – 500 кГц) (333 мс – 2 мкс)				
Частота и период	от 100 мВ до 750 В	0,333 ppm	90 дней/1 год	100 ppm + 0,333 ppm (SLOW, строб 1 с)				
		3,33 ppm		100 ppm + 3,33 ppm (MED, строб 100 мс)				
		33,3 част. на млн		100 ppm + 33,3 ppm (FAST, строб 10 мс)				

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ±(% ОТ ПОКАЗАНИЙ)

Погрешность при малых частотах	MED	FAST
20 Гц – 30 Гц	0,3	–
30 Гц – 50 Гц	0	–
50 Гц – 100 Гц	0	1,0
100 Гц – 200 Гц	0	0,18
200 Гц – 300 Гц	0	0,10
> 300 Гц	0	0

ПИК-ФАКТОР:	1–2	2–3	3–4	4–5
Дополнительная погрешность:	0,05	0,15	0,30	0,40
Макс. основная частота:	50 кГц	50 кГц	3 кГц	1 кГц

Максимальный пик-фактор: 5 для всей шкалы

ПАРАМЕТРЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПЕРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ

ПЕРЕМЕННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ: разделительный конденсатор, истинное среднеквадратич. значение

ВХОДНОЙ ИМЕДАНС: 1 МОм ± 2% || < 100 пФ.

ЗАЩИТА ВХОДА: 1000 В (пиковое значение) или 400 В постоянного напряжения. Для любого сменного модуля 300 В (среднеквадратич. значение).

ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ: разделительный конденсатор, истинное среднеквадратич. значение

СОПРОТИВЛЕНИЕ ШУНТА: 0,1 Ом.

ПАДЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ: для диапазона 1 А – < 0,5 В (среднеквадратич. значение), 3 А – < 1,5 В (среднеквадратич. значение). При использовании сменных модулей добавить 1,5 В (среднеквадратич. значение).

ЗАЩИТА ВХОДА: предохранитель 3 А, 250 В.

ЧАСТОТА И ПЕРИОД

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ: соответствующий метод счета.

ВРЕМЯ СТРОБИРОВАНИЯ: 1 с (SLOW), 100 мс (MED), 10 мс (FAST).

ПАРАМЕТРЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ

CMRR ПО ПЕРЕМЕННОМУ ТОКУ: 70 дБ.

ПРОИЗВЕДЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА ЧАСТОТУ: ≤ 8х10.

СКОРОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ

Один канал, работа от сети 60 Гц (50 Гц)

Функция	Кол-во разрядов	Отсчетов/с	Скорость	Полоса частот
Переменное напряжение, переменный ток	6½	2 с/отсчет	SLOW	3 Гц – 300 кГц
	6½	4,8 (4)	MED	30 Гц – 300 кГц
	6½	40 (32)	FAST	300 Гц – 300 кГц
Частота, период	6½	1 (1)	SLOW	3 Гц – 300 кГц
	5½	9 (9)	MED	30 Гц – 300 кГц
	4½	35 (35)	FAST	300 Гц – 300 кГц
	4½	65 (65)	FAST	300 Гц – 300 кГц
	4½			

Несколько каналов

7710 – сканирование для измерения переменного напряжения: 500/с.

7710 – сканирование для измерения переменного напряжения при включенной автоматической задержке: 2 с/отсчет.

БЫСТРОДЕЙСТВИЕ СИСТЕМЫ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПЕРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ

	2700/2750	2701
Скорость обмена данными	(19 200)	(115 200)
Переключение диапазонов	4/с (3/с)	4/с (3/с)
Переключение функций	4/с (3/с)	4/с (3/с)
Время автоматического выбора диапазона	< 3 с	< 3 с
Передача отсчетов в кодах ASCII через RS-232 (19 200 бод)	50/с	300/с
Макс. частота внешнего запуска:	250/с	2000/с

Комплексная система для проверки сопротивления изоляции и качества электрических цепей подушек безопасности

Модель 2790: система тестирования подушек безопасности на основе источника-измерителя со встроенным цифровым мультиметром и системой коммутации



Модель 2790 является высоковольтным многоканальным комплексом для измерения сопротивлений, быстрого автоматического тестирования электрических компонентов системы «подушки безопасности» и для других задач испытания электрооборудования автомобилей. Это единственный представленный на рынке прибор, сочетающий в одном компактном корпусе при доступной цене функции источников тока, напряжения, измерения и распределения сигналов, необходимые для измерения сопротивления изоляции и контроля целостности цепей. Модель 2790 обеспечивает программируемое приложение высоких напряжений и подачу малых токов, а также многоканальную коммутацию измерительных и питающих цепей. Такое уникальное сочетание возможностей устанавливает новый стандарт стоимости и эффективности для систем проверки нагнетателей подушек безопасности и других задач тестирования.

Измерение сопротивлений в чрезвычайно широком диапазоне при постоянном токе или постоянном напряжении

Встроенный 6½-разрядный цифровой мультиметр модели 2790 обеспечивает выполнение полного набора точных измерений сопротивлений, постоянных и переменных напряжений и токов, частоты, температуры и разнообразных вспомогательных измерений. Такие вспомогательные измерения упрощают создание многофункциональных измерительных комплексов для смешанных задач, таких как тестирование комплексных автомобильных систем, включающих несколько подушек безопасности и преднатяжителей ремней безопасности, подогревателей сидений, переключателей, электромоторов и др.

Формирователь тестовых последовательностей позволяет увеличить производительность тестирования благодаря возможности хранения и автоматического выполнения программ. Это позволяет исключить задержки, связанные с внешним контроллером и передачей данных.



Принадлежности, входящие в комплект поставки:
справочник и руководство пользователя на CD;
провод электропитания;
малая шлицевая отвертка.

Технические характеристики

См. технические характеристики модели 2700 на с. 87.

СКОРОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ОСНОВНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ТЕСТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ «ПОДУШКА БЕЗОПАСНОСТИ»

(время проверки выводов корпуса и сопротивления воспламенителя равно времени проверки закорачивающего зажима и сопротивления изоляции)

0,55 (0,97) секунды на простой (сдвоенный) нагнетатель при последовательной выборке команд из памяти.

1,0 (2,0) секунды на простой (сдвоенный) нагнетатель при произвольной выборке команд из памяти.

- В одном приборе – все необходимое для контроля системы «подушка безопасности»: воспламенителя, закорачивающих зажимов, соединительных цепей и сопротивления изоляции.
- Программируемый источник постоянного напряжения (50–500 В) обеспечивает быстрое измерение больших сопротивлений.
- Программируемый источник постоянного тока (0–50 мА) с автоматическим поддержанием режима «сухих» контактов защищает от несанкционированного срабатывания воспламенителя и травмирования персонала в процессе измерения малых сопротивлений.
- Модульная архитектура позволяет легко адаптировать прибор для тестирования простого или сдвоенного нагнетателя, а также для работы с одним или двумя испытательными стендами и для решения смешанных задач тестирования устройств.
- Возможность увеличения числа каналов мультимплексора для многоканальных измерений.
- Содержит 6½-разрядный цифровой мультиметр с разнообразными встроенными функциями и широкими измерительными диапазонами.
- Возможность взаимодействия с интеллектуальными автоматическими системами и простой интеграции с внешним оборудованием для тестирования.
- Интерфейсы GPIB, RS-232 и цифровые линии ввода-вывода обеспечивают гибкие возможности управления.
- Система команд SCPI обеспечивает удобство написания программ и возможности расширения.
- Двухгодичная периодичность калибровки модулей минимизирует стоимость обслуживания и время простоя.

1,1/1,7 секунды на простой (сдвоенный) нагнетатель при непосредственном управлении через интерфейс GPIB.

(с учетом выполнения каждого измерения в течение одного периода напряжения питающей сети для обеспечения стандартной точности, параметр PLC=1).

Преобразователи интерфейса IEEE-488 (GPIB) для настольных приборов и автоматизированных комплексов

Преобразователи интерфейса GPIB компании Keithley позволяют легко подключить шину IEEE-488.2 к любой компьютерной системе. Эти высокоскоростные компоненты позволяют управлять 14 приборами с интерфейсом GPIB на расстоянии до 20 метров. Они идеально подходят для автоматизированной измерительной аппаратуры в лабораториях и на производстве.

- Модель KPCI-488LPA – это недорогая низкопрофильная плата преобразователя интерфейса GPIB - PCI 32 бит/33 МГц, которая может работать при уровнях сигналов PCI 3,3 В или 5 В.
- Модель KSUB-488B – это преобразователь интерфейса GPIB - USB, превращающий любой компьютер с USB-портом в полнофункциональный контроллер шины GPIB. Идеально подходит для использования в переносном варианте с ноутбуками, а также в тех случаях, когда в компьютере нет свободного слота PCI.



Источники постоянного тока и напряжения

Источники питания компании Keithley с быстрой динамической реакцией – незаменимые аппаратура при измерении характеристик и тестировании портативных устройств

- 92 **Техническая информация**
- 96 **Сравнительная таблица специализированных источников постоянного напряжения**
- 97 **Сравнительная таблица программируемых аналоговых источников постоянного тока и напряжения**
- 98 **Великолепное сочетание выходных параметров, универсальности и простоты эксплуатации**
Программируемые аналоговые источники постоянного тока и напряжения серии 2200
- 99 **Источники, оптимизированные для высокоскоростного тестирования портативных устройств с аккумуляторным питанием**
Модель 2308: имитатор аккумуляторов и зарядных устройств портативных приборов
- 100 **Тестирование изделий с аккумуляторным питанием в условиях, максимально приближенных к реальным**
Имитатор аккумуляторов модели 2302 и имитаторы аккумуляторов и зарядных устройств модели 2306
- 101 **Быстрая динамическая реакция на изменяющуюся нагрузку**
Быстродействующие источники питания моделей 2303 и 2304A

Техническая информация

Программируемые источники постоянного тока и напряжения

Источники постоянного тока и напряжения формируют на выходе регулируемые постоянные токи и напряжения для питания компонентов, модулей и устройств. Источник питания должен обеспечивать стабильное и точное напряжение или ток с минимальным шумом на нагрузке любого типа: резистивной, индуктивной, низкоомной, высокоомной, стационарной или переменной. Насколько хорошо источник питания справляется с этой задачей и каковы предельные значения его параметров, определяются соответствующими техническими характеристиками.

Источник питания имеет два основных регулируемых параметра — это выходное напряжение и предельный ток. Значения этих параметров вместе со значением нагрузки определяют режим работы источника питания.

Большинство источников питания могут работать в двух режимах. В режиме источника постоянного напряжения источник питания регулирует выходное напряжение в соответствии с установленным значением. В режиме источника постоянного тока источник питания регулирует ток. Режим источника питания зависит от заданных параметров и от сопротивления нагрузки.

- Режим постоянного напряжения — это обычный режим работы источника питания. В этом режиме регулируется напряжение. Выходное напряжение постоянно и равно значению, заданному пользователем. Выходной ток определяется сопротивлением нагрузки.
- Режим постоянного тока обычно считается защитным режимом, однако, он может быть использован и для других целей. В режиме постоянного тока выходной ток поддерживается постоянным на уровне, установленном пользователем в качестве верхнего предела по току. Напряжение определяется сопротивлением нагрузки. Если источник питания работает в режиме источника постоянного напряжения и его ток превышает заданный пользователем предел, то источник питания автоматически переключается в режим источника постоянного тока. Если ток нагрузки упадет ниже заданного предела тока, источник питания может вернуться в режим источника постоянного напряжения.

Наиболее важными параметрами для любой задачи являются максимальное напряжение, максимальный ток и максимальная мощность, которые может обеспечить источник питания. Важно, чтобы источник питания мог отдавать мощность при требуемых значениях напряжения и тока. Эти три параметра необходимо проверить в первую очередь.

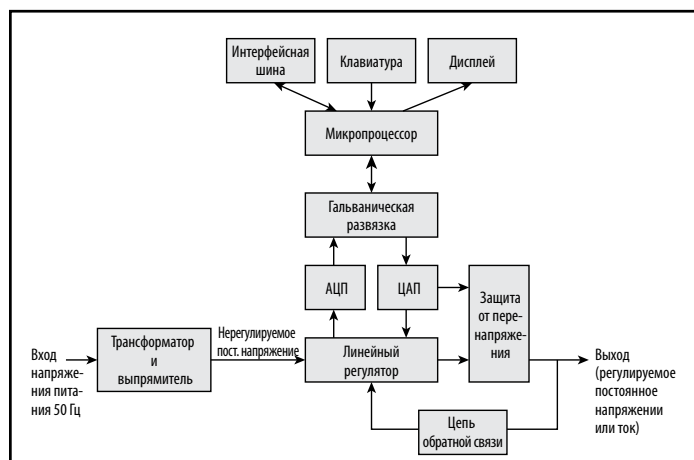


Рис. 1. Упрощенная структурная схема программируемого линейного источника питания с цифровыми и аналоговыми цепями управления

Погрешность и разрешение

В прошлом для регулировки выходного напряжения или тока в источниках питания использовались потенциометры. В настоящее время микропроцессоры получают значения этих параметров с панели управления источника питания или дистанционно. После этого цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) переводит цифровое значение параметра в аналоговую величину, используемую аналоговым регулятором в качестве опорного уровня. Разрешение задаваемого параметра и его погрешность определяются качеством цифро-аналогового преобразования и процессом регулирования.

Напряжения и токи, называемые также пределами или программируемыми величинами, имеют разрешение и погрешность, указанные в технических характеристиках источника. Разрешение определяет минимальный шаг, с которым может устанавливаться выходной параметр, а погрешность описывает степень соответствия выходного параметра международным стандартам. Кроме выходных параметров имеются технические характеристики, относящиеся к измерениям или обратному считыванию установленных значений, не связанные непосредственно с разрешением и точностью установки выходного тока и напряжения.

Большинство источников постоянного тока и напряжения оснащено встроенными цепями измерения напряжения и тока. Эти цепи измеряют напряжение и ток, формируемые источником питания. Поскольку эти цепи считывают значения напряжения, тока и подают их обратно в источник питания, полученные результаты называют также показаниями обратного считывания («feedback»). Большинство профессиональных источников питания оснащены цепями обратного считывания, использующими аналогово-цифровые преобразователи (АЦП), и технические характеристики этих встроенных измерительных приборов аналогичны характеристикам цифровых мультиметров. Источник питания отображает измеренные значения на передней панели и может передавать их через стандартный интерфейс, если он имеется.

Погрешность выходных параметров

Погрешность выходных параметров определяет, насколько близко регулируемый параметр находится к своему теоретическому значению, задаваемому международным стандартом. Выходная погрешность источника питания обусловлена главным образом ошибками ЦАП, в том числе погрешностью дискретизации, и проверяется путем измерения регулируемого параметра с помощью поверенной прецизионной измерительной системы, подключенной к выходу источника питания. Погрешность выходных параметров определяется как:

$$\pm(\% \text{ от установленного значения} + \text{смещение}).$$

В качестве примера рассмотрим источник питания, погрешность выходного напряжения которого указана в виде $\pm(0,03\% + 3 \text{ мВ})$. Если выходное напряжение задано равным 5 В, его погрешность составляет $(5 \text{ В}) \times 0,0003 + 3 \text{ мВ}$, или 4,5 мВ. Погрешность выходного тока определяется и рассчитывается аналогичным образом.

Разрешение при установке программирования параметра

Разрешение установки параметра — это наименьшее изменение напряжения или тока источника питания, которое может быть задано. Если источник питания управляется по интерфейсной шине, например GPIB, этот параметр иногда называют разрешением программирования параметра.

Погрешность и разрешение обратного считывания

Погрешность обратного считывания иногда называют погрешностью измерения. Она определяет, насколько близка величина, измеренная самим источником, к теоретическому значению выходного напряжения (с учетом погрешности установки параметра). Как и в случае цифрового мультиметра, эта погрешность проверяется с помощью эталонного средства измерения. Погрешность обратного считывания определяется как:

$$\pm(\% \text{ от измеренного значения} + \text{смещение}).$$

Разрешение обратного считывания — это наименьшее изменение выходного напряжения или тока, измеренного самим источником питания, которое источник способен различить.

Нестабильность по нагрузке

Нестабильность по нагрузке — это мера способности источника питания поддерживать неизменными выходное напряжение и выходной ток при изменении нагрузки. Она выражается как:

$$\pm(\% \text{ от настройки} + \text{смещение}).$$

Нестабильность по питанию

Нестабильность по питанию — при изменении сетевого напряжения — это мера способности источника питания поддерживать неизменными выходное напряжение и выходной ток при изменении входного напряжения и частоты питающей сети во всем допустимом диапазоне. Она выражается как:

$$\pm(\% \text{ от настройки} + \text{смещение}).$$

Пульсации и шум

Паразитные переменные составляющие на выходе источника питания постоянного тока или напряжения называются пульсациями и шумом или периодическими и случайными отклонениями (PARD). Для Характеристики PARD указываются для заданной полосы частот для тока и напряжения. Характеристики PARD для тока применяются при работе источника питания в режиме источника постоянного тока, они часто указываются в виде среднеквадратических значений. Поскольку форма представления PARD не определена, характеристика PARD для напряжения обычно выражают как в виде среднеквадратического значения напряжения, которое может служить для определения мощности шума, так и в виде размаха напряжения, что может иметь значение при работе источника на высокоомную нагрузку.

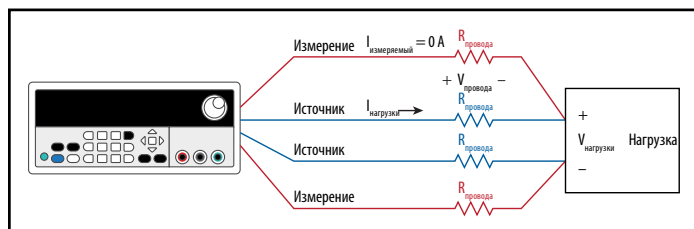


Рис. 2.

Даже не принимая во внимание погрешность источника питания, нельзя гарантировать, что запрограммированное выходное напряжение в точности равно напряжению на нагрузке (тестируемом устройстве). Это происходит потому, что источник питания с двумя выходными клеммами регулирует выходное напряжение только на выходных клеммах, но не на нагрузке. Однако напряжение на нагрузке не равно напряжению на выходных клеммах источника питания. Источник питания и нагрузка разделены проводниками, обладающими сопротивлением $R_{\text{провода}}$, которое определяется длиной проводников, проводимостью материала проводников и их формой. Напряжение на нагрузке определяется выражением:

$$V_{\text{нагрузки}} = V_{\text{запрограммированное}} - 2 \cdot V_{\text{провода}} = V_{\text{запрограммированное}} - 2 \cdot I_{\text{нагрузки}} \cdot R_{\text{провода}}$$

Если нагрузка потребляет большой ток, ток нагрузки $I_{\text{нагрузки}}$ велик и падение напряжения на проводах $V_{\text{провода}}$ может составить несколько десятых долей вольта, особенно при длинных соединительных проводах источника питания, как это бывает в случае автоматизированной измерительной аппаратуры. Напряжение на нагрузке может быть на 80–160 мВ меньше, чем необходимое напряжение (при токе от 2 до 4 А через проводник сечением 1,3 мм²).

Непосредственное измерение напряжения на нагрузке решает проблему падения напряжения на измерительных кабелях. Оно производится с помощью дополнительной пары проводов, подключающих нагрузку к высокоомному входу вольтметра. Поскольку по этой цепи течет очень малый ток, падение напряжения на измерительных проводах пренебрежимо мало, и она используется в качестве цепи обратной связи для управления источником питания.

Источники питания с быстрой динамической реакцией

Источники питания специального назначения серии 2300, выпускаемые компанией Keithley, предназначены для того, чтобы поддерживать стабильное выходное напряжение в самых сложных условиях нагружения, например, при внезапных больших изменениях нагрузки, которые создаются сотовыми и беспроводными телефонами, мобильными радиостанциями, беспроводными модемами и другими портативными устройствами радиосвязи. Эти устройства обычно переходят от уровней потребления тока в режиме ожидания, составляющих 100–200 мА, к уровням до 800 мА — 1,5 А, что означает изменение нагрузки на 800% и более. Для традиционных источников питания обычно задаются параметры переходного процесса при изменении нагрузки на 50%. Для источников питания Keithley серии 2300 гарантируются параметры переходного процесса при изменении нагрузки на 1000%.

Стабильность во время быстрых изменений нагрузки

Когда устройство мобильной радиосвязи переходит в режим передачи на полной мощности, выходное напряжение традиционного источника питания значительно снижается до тех пор, пока его цепь управления не среагирует на резкое изменение нагрузки. Традиционные источники питания ухудшают стабильность работы для всех типов нагрузки при переходных процессах. В результате большое снижение напряжения и длительный период восстановления традиционного источника питания могут привести к тому, что выходное напряжение упадет ниже минимально допустимого уровня входного напряжения тестируемого устройства (ТУ). В результате тестируемое устройство из-за срабатывания внутреннего порогового устройства может отключиться во время тестирования, при этом будет зарегистрирован ложный отказ, влияющий на выход готовой продукции и стоимость производства.

Источники питания с быстрой динамической реакцией серии 2300 обеспечивают снижение напряжения во время переходных процессов при больших изменениях нагрузки не более чем на 200 мВ с учетом вносимого сопротивления длинных проводников между источником питания и тестируемым устройством. Таким образом, источники питания серии 2300 обеспечивают питание тестируемого устройства при любых условиях тестирования и предотвращают ложные отказы (рис. 3).

Точные четырехпроводные измерения

Для точного поддержания заданного напряжения на тестируемом устройстве в источниках питания серии 2300 используется четырехпроводная схема подключения, в которой два провода используются для подачи питания, а другие два провода служат для измерения напряжения непосредственно на тестируемом устройстве (нагрузке). Измерение напряжения на нагрузке компенсирует любые падения напряжения в длинных измерительных проводниках между источником питания и нагрузкой. Кроме того, для достижения малого снижения напряжения при переходном процессе и уменьшения его длительности в этих источниках питания используется широкополосный выходной каскад (рис. 4).

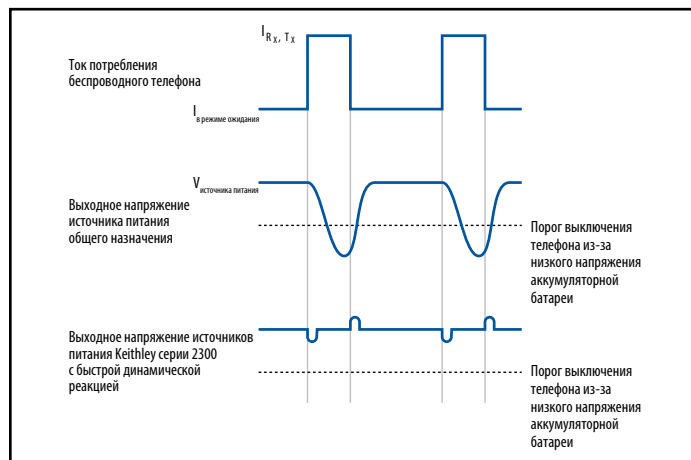


Рис. 3. Сравнение отклика на изменение нагрузки источника питания общего назначения и источника питания Keithley серии 2300 с быстрой динамической реакцией.

Техническая информация

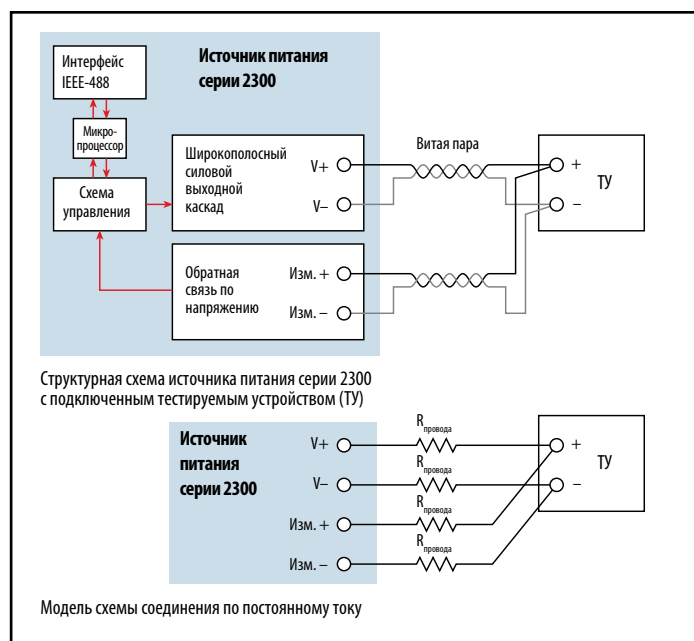


Рис. 4. Четырехпроводная схема подключения, используемая в источниках питания серии 2300, обеспечивает приложение к нагрузке точного напряжения

В источниках питания такого типа часто используются методики, позволяющие определить обрыв или отсутствие контакта в измерительной цепи. Обрыв нарушает управление источником питания с обратной связью. В этом случае выходное напряжение источника питания оказывается неуправляемым и нестабильным, в результате чего к тестируемому устройству могут быть приложены недопустимые напряжения. В случае обрыва в измерительной цепи источника питания серии 2300 либо переключаются на внутреннее локальное измерение напряжения, либо сигнализируют об аварийной ситуации и отключают выходное напряжение.

Имитация аккумуляторной батареи с изменяющимся выходным сопротивлением

Устройства мобильной связи питаются от аккумуляторных батарей, и для их тестирования источники питания моделей 2302 и 2306 точно имитируют работу аккумуляторной батареи. Они способны изменять выходное сопротивление, что позволяет проверять тестируемое устройство в условиях, максимально приближенных к реальным.

Кроме того, эти источники питания могут выполнять функцию программируемой электронной нагрузки и потреблять ток для имитации разряженной аккумуляторной батареи в процессе заряда. Таким образом, один и тот же источник можно использовать как для питания тестируемого устройства, так и для тестирования цепей управления зарядом и самого зарядного устройства.

Модели 2302 и 2306 позволяют изменять выходное сопротивление и тем самым имитировать изменение внутреннего импеданса аккумуляторной батареи. Таким образом можно моделировать поведение аккумуляторной батареи при импульсных токовых нагрузках портативных устройств, таких как мобильные телефоны. Это дает возможность изготовителям портативных устройств испытать их в условиях, близких к реальным условиям эксплуатации.

При импульсном увеличении тока нагрузки портативного устройства выходное напряжение аккумуляторной батареи уменьшается на величину, равную произведению изменения тока на внутреннее сопротивление батареи. Напряжение батареи на протяжении импульса тока может упасть ниже минимально допустимого уровня напряжения питания устройства, и оно автоматически отключится по достижении этого порога. Поскольку внутреннее сопротивление увеличивается по мере разряда батареи, этот пороговый уровень может быть достигнут раньше ожидаемого из-за совместного влияния уменьшения напряжения батареи и увеличения падения напряжения на внутреннем сопротивлении батареи при ее разряде. Вследствие этого срок службы аккумуляторной батареи может оказаться меньше ожидаемого.

Сопротивление батареи следует учитывать при оценке времени, которое мобильный телефон может проработать в режиме разговора, и характеристик режима ожидания, поскольку для его автоматического отключения достаточно снижения напряжения питания ниже порога всего на 100–200 мкс. Это явление широко распространено в телефонах стандарта TDMA, таких как мобильные телефоны GSM, в которых ток потребления во время радиопередачи меняется в 7–10 раз. Разработчикам необходимо моделировать работу батареи в реальных условиях, чтобы определить соответствующий пороговый уровень низкого напряжения батареи. Инженерам по испытаниям необходимо моделировать работу батареи в реальных условиях, чтобы убедиться в том, что срабатывание порогового устройства происходит при заданном напряжении, и не при большем напряжении.

Функции имитации батареи моделей 2302 и 2306 можно использовать как для тестирования отдельных узлов, так и готовых изделий. Например, характеристики потребления радиочастотного усилителя мощности для портативных устройств могут быть измерены при работе от аккумуляторной батареи. По мере разряда батареи ее напряжение уменьшается, а внутреннее сопротивление возрастает. Для поддержания требуемой выходной мощности усилитель потребляет от батареи неизменную мощность. Поэтому по мере уменьшения напряжения и возрастания внутреннего сопротивления возрастает ток, потребляемый усилителем от батареи. С увеличением внутреннего сопротивления батареи как пиковый, так и средний ток значительно возрастают (рис. 5). Для усилителя мощности необходимо указать потребляемую мощность. Но при этом разработчик портативного устройства должен знать, как будет вести себя усилитель мощности при разряде батареи, чтобы выбрать соответствующую аккумуляторную батарею и убедиться в том, что она способна отдавать необходимый ток и обеспечивать требуемое время работы до замены или подзарядки.

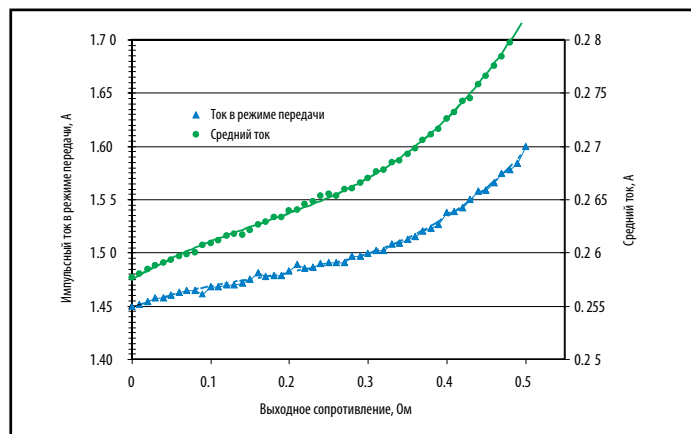


Рис. 5. Потребление тока в режиме передачи и среднее потребление тока радиочастотным усилителем мощности, работающим в импульсном режиме при питании от источника питания модели 2302 или 2306, имитирующего аккумуляторную батарею с номинальным выходным напряжением 3,60 В и выходным сопротивлением от 0,00 до 0,51 Ом.

Формулы и иллюстрации влияния внутреннего сопротивления аккумуляторной батареи на ее выходное напряжение приведены на рис. 6а, б. Как видно, падение напряжения на внутреннем сопротивлении аккумуляторной батареи во время импульса тока может существенно уменьшать ее выходное напряжение.

$V_{\text{батареи}}$ — напряжение идеального источника напряжения,

$R_i(t)$ — внутреннее сопротивление батареи,

$R_{\text{провода}}$ — сопротивление кабелей и соединительных проводов,

ТУ — тестируемое устройство

- Если $R_{\text{провода}}$ мало по сравнению с $R_i(t)$ и $R_i(t)$ можно считать постоянным на протяжении импульса тока и равным $R_i(t) \approx R_i$, то
- напряжение на тестируемом устройстве можно выразить как $V(t) \approx V_{\text{батареи}} - I(t)R_i(t) \approx V_{\text{батареи}} - I(t)R_i$
- где $I(t)$ — ток через батарею.

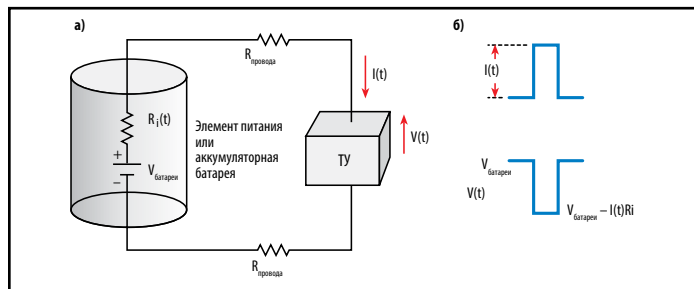


Рис. 6а. Представление аккумуляторной батареи в виде идеального источника напряжения с переменным внутренним сопротивлением и его подключение к тестируемому устройству

Рис. 6б. Выходное напряжение аккумуляторной батареи при импульсном токе нагрузки

Импульсный ток и измерение малых токов

При использовании традиционного источника питания с медленной динамической реакцией для тестирования беспроводных устройств необходимо использовать конденсатор большой емкости для стабилизации выходного напряжения при быстрых изменениях сопротивления нагрузки. По этой причине для измерения тока нагрузки в ее цепь требуются включить измерительный резистор и цифровой мультиметр. Измерительный резистор увеличивает сопротивление цепи и еще больше усиливает проблемы, связанные с уменьшением напряжения на нагрузке. Источники питания Keithley с быстрой динамической реакцией устраняют необходимость использования выходного конденсатора и позволяют цепи обратного считывания источника питания непосредственно измерять ток нагрузки (рис. 7). Опыт компании Keithley в измерении малых токов позволяет измерять токи в режиме ожидания с разрешением 0,1 мкА. Эти источники позволяют также измерять импульсы тока радиопередающих устройств при передаче цифровых данных. В этом случае могут быть зарегистрированы импульсы длительностью всего 60 мкс.

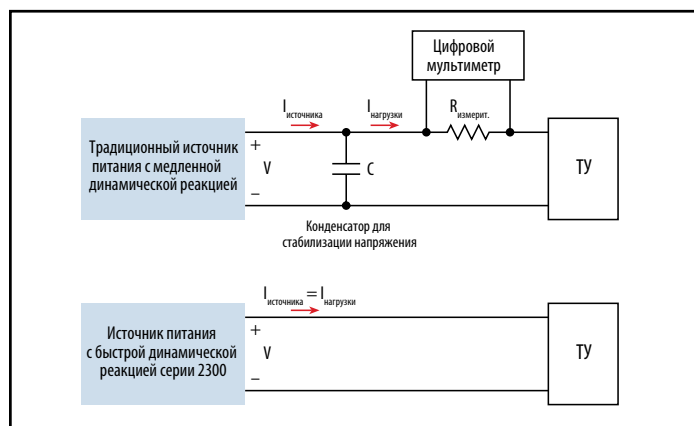


Рис. 7. Источник питания Keithley серии 2300 с быстрой динамической реакцией измеряет токи нагрузки без дополнительных внешних приборов и элементов

Сравнительная таблица специализированных источников постоянного напряжения

Модель	2302	2303	2303-PJ	2304A	2306	2306-PJ	2306-VS	2308	248
Количество каналов	1	1	1	1	2	2	2	2	1
Выходная мощность	макс. 60 Вт в зависимости от напряжения; оптимизированы для максимального тока при низком напряжении	45 Вт	45 Вт	100 Вт	Макс. 50 Вт в зависимости от напряжения и мощности, потребляемой другим каналом; оптимизированы для максимального тока при низком напряжении	Макс. 50 Вт, в зависимости от напряжения и мощности, потребляемой другим каналом; оптимизированы для максимального тока при низком напряжении	Макс. 50 Вт в зависимости от напряжения и мощности, потребляемой другим каналом; оптимизированы для максимального тока при низком напряжении	Макс. 50 Вт в зависимости от напряжения и мощности, потребляемой другим каналом; оптимизированы для максимального тока при низком напряжении	25 Вт
Выходное напряжение	0–15 В	0–15 В	0–15 В	0–20 В	0–15 В	0–15 В	0–15 В	0–15 В	от 0 до ±5000 В
Максимальный постоянный выходной ток	5 А при 4 В	5 А при 9 В	5 А при 9 В	5 А при 20 В	5 А при 4 В	5 А при 4 В	5 А при 4 В	5 А при 4 В	5 мА
Регулируемое выходное сопротивление	0–1 Ом, разрешение 10 мОм				0–1 Ом, разрешение 10 мОм (в канале 1)	0–1 Ом, разрешение 10 мОм (в канале 1)	0–1 Ом, разрешение 10 мОм (в канале 1)	0–1 Ом, разрешение 10 мОм (в канале 1)	
Ток в режиме потребителя	3 А	2 А	2 А	3 А	3 А	3 А	3 А	3 А	1 мА
Чувствительность при измерении пост. тока	100 нА	100 нА	10 мкА	100 нА	100 нА	10 мкА (канал 1) 100 нА (канал 2)	100 нА	100 нА	
Измерение динамического тока	Диапазон 5 А: время интегрирования 33 мкс – 833 мс	Диапазон 5 А: время интегрирования 33 мкс – 833 мс	Диапазоны 500 мА и 5 А: время интегрирования 33 мкс – 833 мс	Диапазон 5 А: время интегрирования 33 мкс – 833 мс	Диапазон 5 А: время интегрирования 33 мкс – 833 мс	Диапазоны 500 мА и 5 А: время интегрирования 33 мкс – 833 мс	Диапазон 5 А: время интегрирования 33 мкс – 833 мс	Диапазоны 5 А, 500 мА, 50 мА и 5 мА: время интегрирования 33 мкс – 833 мс	
Внешний запуск источника напряжения и измерения тока	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Да	Нет	Нет
Погрешность									
По напряжению	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%	0,01%
По току	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,01%
Основные особенности									
Программирование	в т.ч. IEEE-488	в т.ч. IEEE-488	в т.ч. IEEE-488	в т.ч. IEEE-488	в т.ч. IEEE-488	в т.ч. IEEE-488	в т.ч. IEEE-488	в т.ч. Включая IEEE-488	в т.ч. IEEE-488
Обнаружение разомкнутых измерительных проводников	Да				Да	Да	Да	Да	Нет
Цифровой вольтметр	Да	Да	Да	Да	Да, 1 на канал	Да, 1 на канал	Да, 1 на канал	Да, для канала 2	Нет
Аналоговый выход								1 аналоговый выход	
Порт управления реле	4	1	1	2	4	4	Нет	4	Нет
Модуль выносного дисплея (опц.)	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Нет	Да	Нет
CE	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да

Сравнительная таблица программируемых аналоговых источников постоянного тока и напряжения

Модель	2200-20-5	2200-30-5	2200-32-3	2200-60-2	2200-72-1
Страница	98	98	98	98	98
Количество каналов	1	1	1	1	1
Выходная мощность	100 Вт	150 Вт	96 Вт	150 Вт	86 Вт
Выходное напряжение	от 0 до 20 В	От 0 до 30 В	От 0 до 32 В	От 0 до 60 В	От 0 до 72 В
Выходной ток	От 0 до 5 А	От 0 до 5 А	От 0 до 3 А	От 0 до 2,5 А	От 0 до 1,2 А
Режимы работы	CV/CC*	CV/CC*	CV/CC*	CV/CC*	CV/CC*
Разрешение установки и обратного считывания:					
Напряжения	1 мВ	1 мВ	1 мВ	1 мВ	1 мВ
Тока	0,1 мА	0,1 мА	0,1 мА	0,1 мА	0,1 мА
Основная погрешность:					
по напряжению	±0,03%	±0,03%	±0,03%	±0,03%	±0,03%
по току	±0,05%	±0,05%	±0,05%	±0,05%	±0,05%
Основные черты:					
Программирование	IEEE-488 и USB	IEEE-488 и USB	IEEE-488 и USB	IEEE-488 и USB	IEEE-488 и USB
Дистанционное измерение	Да	Да	Да	Да	Да
Внешний запуск	Да	Да	Да	Да	Да
Разъемы на передней и задней панелях	Да	Да	Да	Да	Да
Сохранение настроек	40 ячеек памяти	40 ячеек памяти	40 ячеек памяти	40 ячеек памяти	40 ячеек памяти
Режим работы по списку	7 списков, 80 шагов в списке	7 списков, 80 шагов в списке	7 списков, 80 шагов в списке	7 списков, 80 шагов в списке	7 списков, 80 шагов в списке
Защита паролем	Да	Да	Да	Да	Да
Дистанционная блокировка	Да	Да	Да	Да	Да
Цифровая индикация неисправностей	Да	Да	Да	Да	Да
Аттестация	CSA/CE	CSA/CE	CSA/CE	CSA/CE	CSA/CE

* CV – режим источника постоянного напряжения, CC – режим источника постоянного тока.

Великолепное сочетание выходных параметров, универсальности и простоты эксплуатации

Программируемые аналоговые источники постоянного тока и напряжения серии 2200



Программируемые источники питания серии 2200 обеспечивают широкий диапазон выходных напряжений для тестирования и измерения характеристик элементов, схем, модулей и готовых устройств в исследовательских лабораториях, в процессе разработок и промышленного тестирования. Серия 2200 включает пять моделей с выходными напряжениями от 20 до 72 В и выходной мощностью 86, 96, 100 и 150 Вт. Эти источники питания могут работать как в качестве источников постоянного тока, так и в качестве источников постоянного напряжения. Они работают в автоматизированных системах тестирования так же эффективно, как и в инструментальных комплексах с ручным управлением.

Источники питания Keithley серии 2200 обладают рядом особенностей, позволяющих легко и быстро получать необходимые результаты.

- Дисплей с двумя строками отображает как запрограммированные настройки, так и фактические значения выходного напряжения и тока. Это позволяет оперативно обнаруживать, анализировать и устранять все расхождения между расчетными и фактическими выходными параметрами.
- Режим списка позволяет создавать повторяемые тестовые последовательности, содержащие до 80 действий. Это позволяет легко проверить элемент, модуль или устройство во всем эксплуатационном диапазоне.
- Схема обратного считывания напряжения на нагрузке устраняет влияние падения напряжения на соединительных проводах источника питания, благодаря чему обеспечивается подача заданного напряжения на нагрузку (тестируемое устройство).

- Пять моделей с выходной мощностью от 86 до 150 Вт и выходным напряжением от 20 до 72 В удовлетворяют широкий круг требований к электропитанию.
- Основная погрешность по напряжению 0,03% и основная погрешность по току 0,05% обеспечивают получение точных данных в процессе испытаний.
- Высокое разрешение выходных параметров и измерений – 1 мВ и 0,1 мА – позволяют тестировать маломощные цепи и устройства.
- Непосредственное измерение напряжения на нагрузке обеспечивает приложение к нагрузке требуемого напряжения.
- Интерфейсы GPIB и USB в стандартном исполнении для удобства автоматического управления.

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

CS-1638-12 – ответный разъем для задней панели;
CD с документацией и драйверами для LabVIEW и IVI-COM.



Задняя панель источника питания серии 2200.

Источники, оптимизированные для высокоскоростного тестирования портативных устройств с аккумуляторным питанием

Модель 2308: имитатор аккумуляторов и зарядных устройств портативных приборов



Двухканальный имитатор аккумуляторов и зарядных устройств модели 2308 — это специализированный источник питания, предназначенный для тестирования мобильных телефонов и других работающих от аккумуляторов портативных устройств и радиоэлементов. Модель 2308 является законченным решением для подачи питания к портативным устройствам и измерения тока под нагрузкой и имеет два канала, один из которых оптимизирован для имитации аккумуляторной батареи, а второй — для имитации зарядного устройства. Это упрощает выполнение тестовых операций, таких как подача регулируемого напряжения к портативному тестируемому устройству, измерение потребляемого им тока, определение общей потребляемой мощности (для расчета срока службы батареи) и проверка цепи подзарядки. Ниже перечислены несколько функциональных возможностей, которые позволяют максимально увеличить выход продукции и избежать ложных отказов.

- Поддержание стабильного постоянного питающего напряжения в любых условиях, в том числе при больших изменениях тока нагрузки, когда тестируемое устройство почти мгновенно переходит из режима сна или ожидания в состояние передачи на полной мощности.
- Наличие четырех диапазонов тока при чувствительности до 100 нА для точного измерения токов от нескольких микроампер до 5 А.
- Выполнение быстрых измерений токов нагрузки, в том числе узких импульсов тока длительностью вплоть до 50 мкс.

- Специализированный двухканальный источник питания для разработки и тестирования портативных устройств с автономным питанием.
- Исключительно быстрый отклик на импульсное изменение сопротивления нагрузки.
- Оптимизированный по быстродействию набор команд для сокращения времени тестирования.
- Регулируемое выходное сопротивление для моделирования фактического отклика батареи.
- Моделирование разряженного аккумулятора с выходным током до 3 А для тестирования эффективности схемы управления подзарядкой.
- Второй канал для моделирования зарядного устройства.
- Измерения пикового импульсного, среднего и постоянного тока.
- Чувствительность измерения тока 100 нА.
- Аналоговый выход для регистрации и анализа формы тока нагрузки.

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

CS-846 — ответные клеммы для выходных разъемов;
CD с документацией.



Задняя панель модели 2308

Тестирование изделий с аккумуляторным питанием в условиях, максимально приближенных к реальным

Имитатор аккумуляторов модели 2302 и имитаторы аккумуляторов и зарядных устройств модели 2306



Одноканальный имитатор аккумуляторных батарей модели 2302 и двухканальный имитатор аккумуляторных батарей и зарядных устройств модели 2306 являются идеальными приборами для производственных испытаний портативных изделий с аккумуляторным питанием, в частности, телекоммуникационных устройств. Исключительно быстрая динамическая реакция и возможность регулирования выходного сопротивления обеспечивают эксплуатационные параметры и поведение источника, идентичные настоящим аккумуляторам. Это дает возможность испытывать портативные устройства в условиях, максимально приближенных к условиям эксплуатации и устранить ложные отказы, характерные при использовании традиционных источников питания с медленной динамической реакцией. Регулируемое выходное сопротивление позволяет имитировать работу аккумуляторов различных типов, а также аккумуляторов в конце срока службы. Модели 2302 и 2306 обеспечивают самую высокую производительность, максимально упрощая системы тестирования благодаря тому, что эти приборы могут измерять как постоянный, так и импульсный ток.

- Исключительно быстрый отклик на перепады тока нагрузки.
- Возможность выбора одно- или двухканального источника питания.
- Регулируемое выходное сопротивление для моделирования отклика батареи.
- Внешний запуск для быстрого пошагового изменения напряжения (модель 2306-VS).
- Диапазон импульсных токов до 500 мА (модель 2306-PJ).
- Измерения пикового импульсного, среднего и базового тока.
- Чувствительность измерения постоянного тока 100 нА.
- Потребление тока до 3 А, выходной ток до 5 А.
- Обнаружение разомкнутых измерительных проводников.
- Встроенный цифровой вольтметр.

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию;

CS-846 – ответные клеммы для выходных разъемов.



Задняя панель модели 2306

Быстрая динамическая реакция на изменяющуюся нагрузку

Быстродействующие источники питания моделей 2303 и 2304A



Источники питания моделей 2303 (45 Вт) и 2304A (100 Вт) обеспечивают регулировку напряжения и мониторинг мощности для автоматического тестирования портативных устройств с аккумуляторным питанием. Выходной ток обоих источников составляет 5 А, что позволяет с запасом удовлетворить потребности разработчиков портативных устройств. Разрешение 100 нА (10 мкА у модели 2303-PJ) позволяет точно контролировать токи в режиме ожидания с основной погрешностью 0,2%. Быстрая динамическая реакция обеспечивает имитацию аккумулятора, при этом время установления напряжения на заданном уровне с погрешностью 100 мВ не превышает 40 мкс. Способность этих приборов рассеивать ток на внутреннем сопротивлении позволяет им имитировать характеристики разряженного аккумулятора для тестирования зарядных устройств и относящихся к ним электрических цепей. Помимо измерения постоянного тока, эти источники позволяют измерять импульсы тока длительностью от 60 мкс до 833 мс. Модуль дистанционного управления и отображения (приобретается дополнительно) позволяет установить сам прибор вне поля зрения. Входы цифрового вольтметра дают возможность обоим источникам измерять и отображать постоянные напряжения в любой точке измерительной системы, что позволяет сократить расходы и сэкономить место, необходимые в случае приобретения отдельного цифрового мультиметра.

- Оптимизированы для тестирования устройств с аккумуляторным питанием.
- Исключительно быстрая динамическая реакция на изменение нагрузки.
- Выходной ток в непрерывном режиме 5 А.
- Измерения пикового импульсного, среднего и постоянного тока.
- Чувствительность измерения постоянного тока 100 нА.
- МОДЕЛЬ 2304A:
выходная мощность 100 Вт (20 В при 5 А);
рассеяние тока до 3 А на внутреннем сопротивлении.
- МОДЕЛЬ 2303:
выходная мощность 45 Вт (15 В при 3 А,
9 В при 5 А);
рассеяние тока до 2 А на внутреннем сопротивлении.

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию;
CS-846 – ответные клеммы для выходных разъемов.



Задняя панель модели 2304A

Тестирование оптоэлектронных устройств

Компания Keithley предлагает широкий выбор средств измерений для специфичных задач оптоэлектронной промышленности. Это универсальные высокочувствительные приборы, источники-измерители и специальные средства измерения для оптоэлектроники.

- 104 **Техническая информация**
- 106 **Сравнительная таблица аппаратуры для тестирования оптоэлектронных устройств**
Системы для измерения ватт-амперных и вольтамперных характеристик (LIV)
- 107 **Единственная в отрасли система для измерения ватт-амперных и вольтамперных характеристик (LIV) в импульсном режиме с термостабилизацией**
Система тестирования импульсных лазерных диодов модели 2520
- 107 **Средство измерения оптической мощности в импульсном режиме**
Шаровой интегрирующий фотометр модели 2520INT для импульсных измерений
- 108 **Система термостабилизации тестируемого устройства**
Источник-измеритель модели 2510-AT TEC
- 108 **Средство измерения оптической мощности в непрерывном режиме**
Шаровой интегрирующий фотометр модели 2500INT
- 109 **Широкофункциональная система тестирования лазерных диодов**
Система System 25 для измерения ватт-амперных и вольтамперных характеристик (LIV) лазерных диодов
- 109 **Принадлежности для удобства тестирования лазерных диодов**
Модули крепления лазерных диодов

Техническая информация

Для измерения характеристик активных оптоэлектронных устройств недостаточно только источника тока

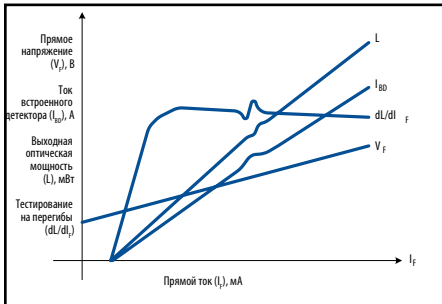


Рис. 1. Классические характеристики полупроводниковых лазерных диодов.

Активные оптоэлектронные приборы построены на стандартных полупроводниковых переходах. Для их полного тестирования требуется измерение прямых и обратных вольт-амперных характеристик. Хотя обычные драйверы лазерных диодов успешно используются в оптических лабораториях в качестве источников тока накачки, они не подходят для комплексного анализа этих полупроводниковых устройств. Источники-измерители компании Keithley имеют все необходимые функции формирования сигналов и измерений, оптимизированные для определения характеристик полупроводниковых устройств.

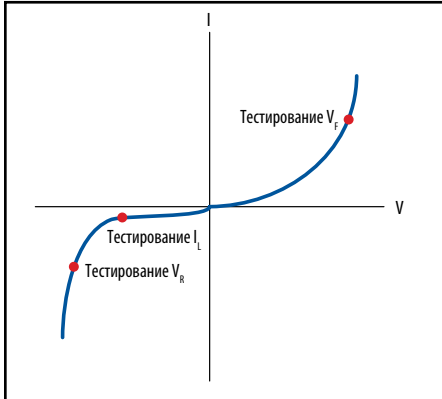


Рис. 2. Определение характеристик полупроводниковых переходов требует измерения обратного напряжения пробоя (V_R), тока утечки (I_L) и прямого напряжения (V_F).

Определение полного набора характеристик активных оптоэлектронных устройств требует приложения как прямых, так и обратных токов и напряжений. Например,

тестирование обратного напряжения пробоя требует во время измерения напряжения подачи очень малого, точно заданного обратного тока (10 нА). Ограничение по току предотвращает необратимое повреждение устройства, в то же время позволяя точно измерить напряжение пробоя. Зная напряжение пробоя, можно во время измерения тока утечки приложить обратное смещение, которое не повредит устройству. Значение тока утечки часто используют для допуска устройства к дальнейшим испытаниям.

Четырехквadrантная выходная характеристика источника

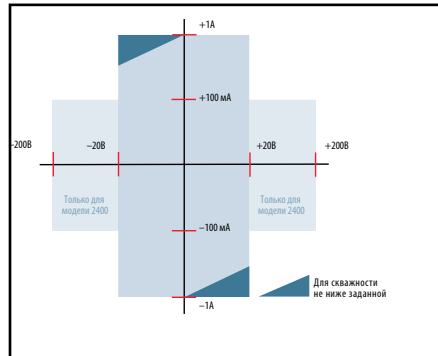


Рис. 3. Модель 2400 позволяет прикладывать напряжение и подавать или рассеивать ток. Другие источники-измерители имеют различные диапазоны, обеспечивая очень широкие динамические диапазоны: от 1 мкА до 5 А и от 200 мВ до 1000 В.

Источники-измерители сочетают в себе прецизионные источники, работающие в четырех квадрантах (см. рис. 3) и средства измерения. Диапазоны источников и измерителей обеспечивают очень широкие динамические диапазоны: от 1 мкА до 5 А и от 200 мВ до 1000 В. Такие широкие динамические диапазоны позволяют тестировать разнообразные устройства от маломощных лазерных диодов на AlGaAs до лавинных кремниевых фотодиодов.

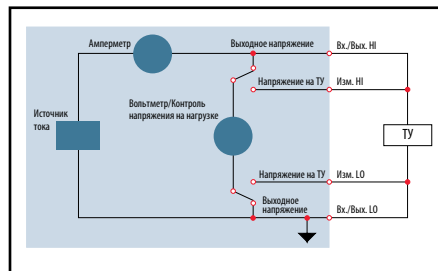


Рис. 4. В режиме источника тока источник-измеритель подает ток, измеряя при этом напряжение. Измерение напряжения на тестируемом устройстве гарантирует, что заданное пороговое напряжение не будет превышено.

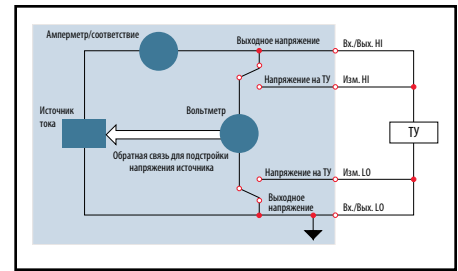


Рис. 5. В режиме источника напряжения источник-измеритель прикладывает напряжение и измеряет ток. Измерение напряжения на тестируемом устройстве гарантирует приложение к нему желаемого напряжения.

Проверка подключения устройства

Все источники-измерители серии 2400 могут быть дополнительно оснащены функцией проверки контактов, которая перед подачей питания на тестируемое устройство или перед выполнением измерительной последовательности автоматически проверяет качество всех контактов измерительных цепей. На рис. 6 показан случай, когда проверка контактов обнаружила обрыв в цепи измерения напряжения на тестируемом устройстве. При обрыве этой цепи измерение падения напряжения на нагрузке и, соответственно, прохождение теста было бы невозможно.

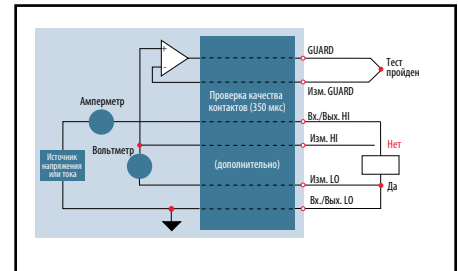


Рис. 6. Функция проверки контактов перед началом тестирования проверяет качество контактов питающих, измерительных и охранных цепей с тестируемым устройством.

Измерение напряжения на тестируемом устройстве

Источники-измерители позволяют использовать для измерений двух- или четырехпроводную схему соединений. При двухпроводной схеме для измерения напряжения и подачи питания используются одни и те же соединительные провода, как показано на рис. 7а. При подаче больших токов падение напряжения на соединительных проводах становится существенным по отношению к прямому падению напряжения на тестируемом устройстве.

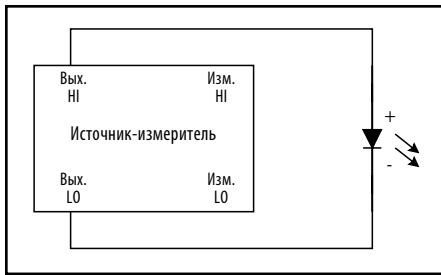


Рис. 7а. Двухпроводные измерения

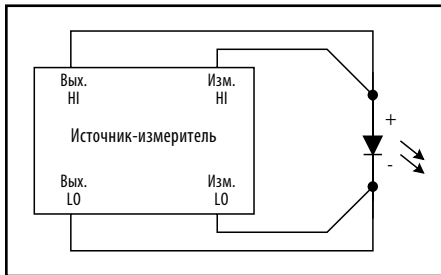


Рис. 7б. Четырехпроводные измерения (схема Кельвина)

При четырехпроводных измерениях для измерения падения напряжения на тестируемом устройстве используются специальные измерительные проводники. Поскольку цепь измерения напряжения имеет очень высокое входное сопротивление, ток через соединительные проводники пренебрежимо мал. Омическое падение напряжения на соединительных проводах во время измерения составляет чрезвычайно малую долю напряжения на тестируемом устройстве.

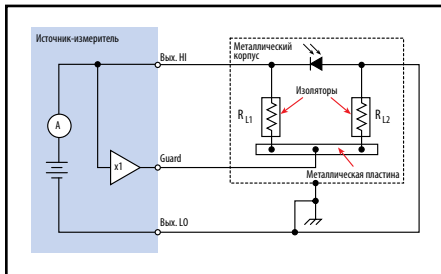


Рис. 8. Схема охранного экранирования поддерживает потенциал охранного электрода равным потенциалу электрода "Выход, высокий потенциал"

Измерения малых токов требуют активного охранного экранирования

Используется только в прецизионном измерительном оборудовании активное охранное экранирование минимизирует разность потенциалов между металлическими деталями держателя измеряемого образца и выходом источ-

ника напряжения (см. рис. 8). Малая разность потенциалов между выходом источника напряжения и охранным электродом нейтрализует возможные пути утечки. Этот метод требует применения дополнительного инструментального усилителя, который поддерживает потенциал охранный электрода на уровне потенциала источника напряжения и имеет достаточный выходной ток для компенсации любых токов утечки на землю.

Возможность программирования условий формирования сигналов запуска

В традиционных приборах обычно используется простая взаимосвязь между входными и выходными сигналами запуска. В этом случае разработчику приходится решать сложную задачу синхронизации различных приборов. Простые входные и выходные сигналы запуска часто не позволяют учитывать разницы в поведении приборов или синхронизировать несколько приборов. На рис. 9 показана схема запуска, используемая в большинстве измерительных приборов для оптоэлектронных устройств.



Рис. 9. Типовая схема взаимодействия входного и выходного сигналов запуска

В приборах серии 2400 измерительный цикл разделен на три части, как показано на рис. 10. Это фаза подачи питания S, фаза задержки D и фаза измерения M, называемые также циклом SDM. Модель запуска, используемая в приборах серии 2400, позволяет запрограммировать каждую фазу SDM цикла таким образом, чтобы она могла быть запущена входным сигналом. Прибор можно запрограммировать и таким образом, чтобы завершение любой фазы формировало выходной сигнал запуска.

В отличие от многих приборов, имеющих один входной и один выходной сигнал запуска, в приборах серии 2400 используется шина запуска Trigger Link.

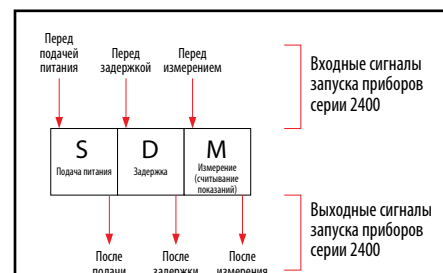


Рис. 10. Схема входных и выходных сигналов запуска приборов серии 2400

Точное измерение характеристик активных оптоэлектронных элементов часто требует совместной работы нескольких приборов. Например, два прибора серии 2400 могут

использоваться совместно: один источник-измеритель используется для питания устройства, а второй прибор, подключенный к фотодиоду, — для регистрации оптического отклика активного устройства. На рис. 11 показаны два прибора серии 2400, работающие синхронно для измерения характеристик светодиода.

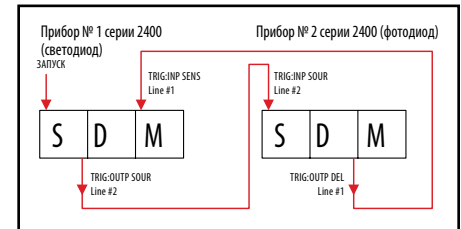


Рис. 11. Сигналы запуска цикла SDM при синхронизации двух приборов серии 2400.

Как видно на рис. 11, входной и выходной сигналы запуска связаны с различными фазами цикла SDM, чтобы обеспечить одновременное выполнение измерений параметров СИД и фотодиода. Такой же метод можно использовать, чтобы гарантировать завершение процесса установления выходного тока перед выполнением измерений оптического спектра с помощью дополнительного прибора.

Полная защита тестируемого устройства

Защита тестируемого устройства — первоочередная задача при тестировании оптоэлектронных устройств. Источники-измерители идеально приспособлены для создания безопасных электрических схем тестирования чувствительных активных оптоэлектронных устройств.

- В обычном режиме отключенного выходного сигнала напряжение на выходных клеммах сбрасывается до нуля. Эта операция разряжает тестируемое устройство и, что более важно, обеспечивает равенство нулю энергии, запасенной в индуктивности соединительных проводов. Скоростью разряда можно управлять путем установки нужного диапазона источника напряжения. Это обеспечивает более благоприятный режим работы, чем использование закорачивающих реле в традиционных схемах управления лазерными диодами.
- Источники-измерители обеспечивают задание нужного падения напряжения, выбор диапазона для задания падения напряжения, что гарантирует защиту испытываемого устройства от перегрузок по току или по напряжению.
- Функция проверки качества контактов позволяет перед подачей питания на тестируемое устройство убедиться в том, что все соединительные провода имеют хороший электрический контакт с устройством.

Следует отметить, что в источниках-измерителях компании Keithley использован многолетний опыт тестирования полупроводниковых элементов и прецизионных измерений характеристик намного более чувствительных устройств, чем активные оптоэлектронные компоненты.

Сравнительная таблица аппаратуры для тестирования оптоэлектронных устройств

Системы для измерения ватт-амперных и вольтамперных характеристик (LIV)

	2602A	2612A	Система 25	2520
Макс. Питающий ток	3 А непрер./10 А в импульсе на канал	1,5 А непрер./10 А в импульсе на канал	5 А	5 А
Режим источника	Непрерывный сигнал	Импульсный/ непрерывный сигнал	Непрерывный сигнал	Импульсный/ непрерывный сигнал
Количество каналов	1 драйвер лазерного диода, 1 измерение тока фотодиода	1 драйвер лазерного диода, 1 измерение тока фотодиода	1 драйвер лазерного диода, 1 измерение тока фотодиода	1 драйвер лазерного диода, 1 измерение тока фотодиода

Измерение оптической мощности				Измерение тока фотодиода
	2502	6487	6485	2635A/2636A
ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА				
От	15 фА	20 фА	20 фА	120 фА
До	20 мА	20 мА	20 мА	10 А
НАПРЯЖЕНИЕ СМЕЩЕНИЯ ФОТОДИОДА	100 В (каждый канал)	500 В	Нет	200 В
ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ				
Оптическая измерительная головка	Серия 2500INT (Si и Ge) (190–1800 нм)	Серия 2500INT (Si и Ge) (190–1800 нм)	Серия 2500INT (Si и Ge) (190–1800 нм)	
Количество каналов	2	1	1	1/2
Тип разъема	Триаксиальный (с охранным электродом)	Триаксиальный (с охранным электродом)	Коаксиальный (BNC)	Триаксиальный (с охранным электродом)
Внешние интерфейсы	GPIO, RS-232	GPIO, RS-232	GPIO, RS-232	GPIO, RS-232, Ethernet (LXI)

Драйверы лазерных диодов и источники питания светодиодов

	2601A	2611A	2401	2420	2440	2520	6220 6221
ИСТОЧНИК ТОКА							
От	5 пА	5 пА	±10 пА	±500 пА	±500 пА	70 мкА	80 фА
До	3 А непрер./10 А в импульсе на канал	1,5 А непрер./10 А в импульсе на канал	±1,05 А	±3 А	±5 А	+ 5 А	±100 мА
Режим	непрер./импульсный	непрер./импульсный	непрер.	непрер.	непрер.	непрер./импульсный	непрер./импульсный
ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ							
От	1 мкВ	1 мкВ	1 мкВ	10 мкВ	10 мкВ	60 мкВ	10 нВ (с 2182A)
До	40 В	200 В	21 В	60 В	40 В	10 В	100 В (с 2182A)
ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ							
Тип разъема	Винтовые клеммы	Винтовые клеммы	Штыревые (типа «банан»)	Штыревые (типа «банан»)	Штыревые (типа «банан»)	10 Ом BNC	Триаксиальный (с охранным электродом)
Внешние интерфейсы	GPIO/RS-232, TSP, Ethernet (LXI)	GPIO/RS-232, TSP, Ethernet (LXI)	GPIO/RS-232	GPIO/RS-232	GPIO/RS-232	GPIO/RS-232	GPIO/RS-232, Ethernet (только модель 6221)

Единственная в отрасли система для измерения ватт-амперных и вольтамперных характеристик (LIV) в импульсном режиме без нагрева лазерных диодов

Система тестирования импульсных лазерных диодов модели 2520

Точная синхронизация подачи питания и измерений в модели 2520 обеспечивает высокую точность даже при тестировании импульсами с шириной всего 500 нс. Модель 2520 позволяет проводить измерение LIV-характеристик в импульсном режиме при токе до 5 А и в непрерывном режиме при токе до 1 А. Возможность тестирования в импульсном режиме позволяет использовать эту систему для проверки широкого ассортимента лазерных диодов. Архитектура с базовым блоком и выносной испытательной головкой улучшает точность измерений в импульсном режиме.



- Упрощает измерение ватт-амперных и вольтамперных характеристик (LIV-характеристик) лазерных диодов до монтажа в корпус использования активной термостабилизации.
- Комплексное решение для измерения LIV-характеристик на уровне кристалла или пластины.
- Сочетает возможности высокоточного измерителя и источника питания в непрерывном и импульсном режимах.

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

руководство по эксплуатации;
краткое руководство эксплуатации;
триаксиальные кабели (2);
коаксиальные 10-омные BNC-кабели (4).

Средство измерения оптической мощности в импульсном режиме для модели 2520

Шаровой интегрирующий фотометр модели 2520INT для импульсных измерений

Короткие импульсы, при которых может работать модель 2520, в сочетании с быстройдействием шарового интегрирующего фотометра модели 2520INT делают эту комбинацию приборов идеальной для измерения оптической мощности лазерных диодов на уровне пластины или кристалла, прежде чем эти устройства будут смонтированы в модули термостабилизации. При подключении фотометра 2520INT к модели 2520 посредством малошумящего триаксиального кабеля возможно проведение высокоточных прямых измерений оптической мощности лазерных диодов.

- Оптимизирован для импульсного тестирования лазерных диодов.
- Встроенный германиевый детектор.
- Органично сочетается с системой тестирования лазерных диодов модели 2520.

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

краткое руководство по эксплуатации;
данные калибровки (поставляются в виде напечатанной таблицы и в электронном виде в формате CSV);
основание;
стойка 1/4–20 для крепления.



Система термостабилизации тестируемого устройства

Источник-измеритель модели 2510-AT TEC



Источники-измерители моделей 2510 и 2510-AT TEC предназначены для обеспечения точного контроля температуры телекоммуникационных лазерных диодов во время тестирования. Эти приборы разработаны на основе опыта компании Keithley в создании быстродействующих источников-измерителей, работающих на постоянном токе, который использован для точного управления термоэлектрическим охладителем модуля лазерного диода. Модель 2510-AT расширяет возможности модели 2510 и обеспечивает возможность автоматической подстройки температуры. Это избавляет пользователей от необходимости экспериментально определять оптимальные значения коэффициентов ПИД-регулятора (пропорционально-интегрально- дифференциального регулятора).



- Обеспечивает контроль температуры при помощи цифрового ПИД-регулятора.
- Предназначен для поддержания заданной температуры лазерных диодных модулей во время тестирования.
- Модель 2510-AT предоставляет возможность автоподстройки температуры по сигналу термодатчика.
- Широкий диапазон уставок температуры (от -50°C до $+225^{\circ}\text{C}$), высокое разрешение ($\pm 0,001^{\circ}\text{C}$) и стабильность ($\pm 0,005^{\circ}\text{C}$).
- Совместим с широким ассортиментом датчиков температуры: термисторами, терморезисторами и интегральными датчиками (IC).
- Поддерживает постоянную температуру, ток, напряжение и сопротивление датчика.
- Функция измерения сопротивления на переменном токе позволяет обнаруживать механические повреждения элемента Пельтье (TEC).
- Измеряет и отображает во время цикла контроля параметры элемента Пельтье.

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

руководство по эксплуатации;
входной/выходной разъемы.

Средство измерения оптической мощности в непрерывном режиме

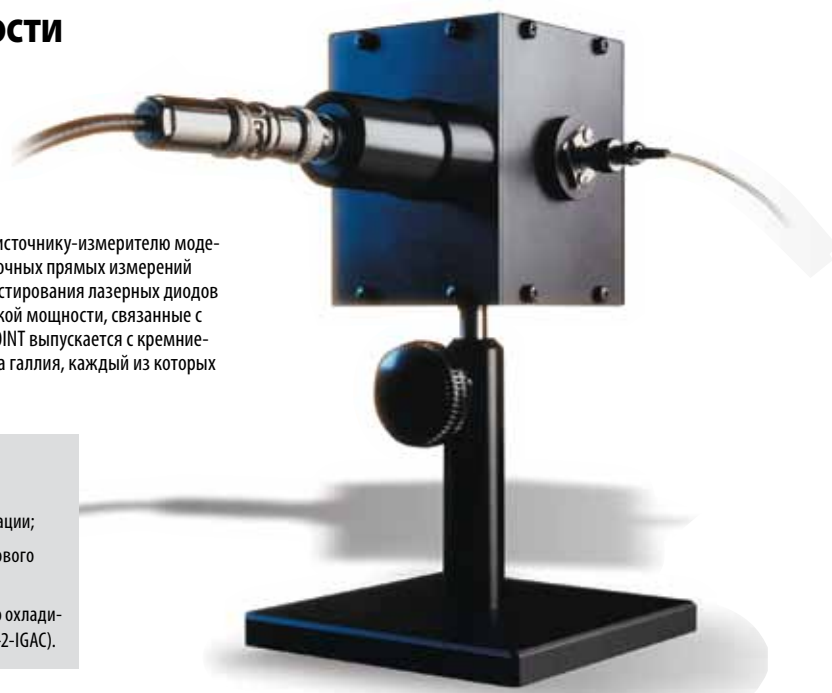
Шаровой интегрирующий фотометр модели 2500INT

При подключении шарового интегрирующего фотометра модели 2500INT к двухканальному источнику-измерителю модели 2502 посредством малошумящего триаксиального кабеля возможно проведение высокоточных прямых измерений оптической мощности лазерных диодов в ваттах. Шаровой фотометр упрощает процедуру тестирования лазерных диодов в процессе производства, устраняя обычно возникающие проблемы при измерении оптической мощности, связанные с юстировкой детектора, профилем луча, поляризацией и обратным отражением. Модель 2500INT выпускается с кремниевым, германиевым детектором или охлаждаемым детектором из арсенида индия и арсенида галлия, каждый из которых калиброван с интегрирующей сферой.

- Кремниевый, германиевый детектор или охлаждаемый детектор из арсенида индия и арсенида галлия.
- Материал покрытия внутренней поверхности сферы Spectralon® обеспечивает высокую отражающую способность.

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

краткое руководство по эксплуатации;
калибровочные данные для шарового фотометра;
контроллер термоэлектрического охладителя (состав комплекта с 2500INT-2-IGAC).



Широкофункциональная система тестирования лазерных диодов

Система System 25 для измерения ватт-ампертных и вольтамперных характеристик (LIV) лазерных диодов



- Сканирование и измерение 400 точек менее чем за 8 секунд.
- Источник тока с исключительно малым шумом (50 мкА) для накачки лазерного диода.
- Диапазон тока накачки лазерного диода до 5 А.
- Шина линий запуска Trigger Link, память программ и буферная память обеспечивают возможность автоматического выполнения тестовых последовательностей.

Система System 25 компании Keithley для измерения LIV-характеристик разработана в соответствии с потребностями производства лазерных диодных модулей, позволяя увеличить производительность и выход готовой продукции. Система System 25 для измерения LIV-характеристик сочетает в одном аппаратном решении функции измерения постоянных токов, напряжений, оптической мощности и точного контроля температуры устройств, необходимые для тестирования лазерных диодных модулей. Система состоит из надежных и высокоточных приборов производства компании Keithley. Базовая конфигурация может быть легко модифицирована для добавления новых измерительных функций или соединений. Компания Keithley разработала ряд стандартных конфигураций системы, включающих кабели и переходники для подключения тестируемых устройств и шин управления и запуска. Также в комплект поставки входит крепеж для установки приборов в аппаратную стойку.

Принадлежности для удобства тестирования лазерных диодов

Модули крепления лазерных диодов

Модули крепления 8542, 8544 и 8544-ТЕС для лазерных диодов обеспечивают высокостабильное регулирование температуры тестируемых устройств в составе удобной платформы тестирования лазерных диодов, применяемых в сфере телекоммуникаций. Имеются три различных конструкции крепежного узла, каждая из которых совместима с известными системами производства компании Keithley для измерения LIV-характеристик лазерных диодов. В модулях серии 854х могут быть установлены все типы лазеров в 14-выводных корпусах DIL или Butterfly.

- Упрощает конфигурирование систем для измерения LIV-характеристик.
- Предлагается выбор из трех конструкций узлов крепления, каждая из которых оснащена всеми необходимыми кабелями.
- При комплектации термоэлектрическим охладителем предусмотрен контроль окружающей температуры.

Принадлежности, входящие в комплект поставки:

8542-301 — LIV-кабель длиной 1,8 м для подключения моделей 2500 и 24хх к модулю крепления лазерных диодов (поставляется с модулями 8542, 8544 и 8544-ТЕС);

СА-321-1 — кабель регулирования температуры длиной 1,8 м для соединения модели 2510 с модулем крепления лазерных диодов (поставляется с модулями 8542 и 8544);

СА-322-1 — двойной кабель регулирования температуры длиной 1,8 м для соединения двух моделей 2510 с модулем крепления лазерных диодов (поставляется с модулем 8544-ТЕС).



СПИСОК ПРИБОРОВ, ВНЕСЕННЫХ В ГОСРЕЕСТР СИ РФ на 1 июля 2013 года*

Номер сертификата	Наименование СИ	Обозначение типа СИ	Срок свидетельства
49915-12	Источники питания программируемые	2200-20-5, 2200-30-5, 2200-32-3, 2200-60-2, 2200-72-1	18.05.2017
49647-12	Электрометры-измерители больших сопротивлений	6517B	20.04.2017
49634-12	Мультиметры цифровые с системой коммутации	3700A	20.04.2017
49633-12	Калибраторы-измерители напряжения и силы тока	6430	20.04.2017
49337-12	Пикоамперметры	6487	23.03.2017
49335-12	Калибраторы силы тока	6220, 6221	23.03.2017
49334-12	Калибраторы-измерители напряжения и силы тока	2651A	23.03.2017
49333-12	Калибраторы-измерители напряжения и силы тока	2611A, 2612A, 2635A, 2636A	23.03.2017
49332-12	Калибраторы-измерители напряжения и силы тока	2401	23.03.2017
46379-11	Калибраторы-измерители напряжения и силы тока	2601A, 2602A	01.03.2016
41659-09	Пикоамперметры	6485	01.11.2014
25790-08	Нановольтметры цифровые	2182A	01.12.2013
25789-08	Калибраторы-мультиметры цифровые	2400, 2410, 2420, 2425, 2430, 2440	01.12.2013
25788-08	Мультиметры цифровые с системой сбора данных	2700, 2701, 2750	01.12.2013
25787-08	Мультиметры цифровые	2000, 2001, 2002, 2010	01.12.2013

* Список сертифицированных приборов Keithley постоянно пополняется. Актуальную информацию можно узнать, позвонив по телефону +7 495 664 75 64 или отправив заявку на адрес moscow@tektronix.com

Технические характеристики могут изменяться без предварительного уведомления. Все товарные знаки и торговые наименования Keithley являются собственностью Keithley Instruments, Inc. Другие упомянутые товарные знаки и торговые наименования являются собственностью соответствующих владельцев.



A G R E A T E R M E A S U R O F C O N F I D E N C E

www.keithley.ru

Представительство KEITHLEY в России:
125993, Москва, Ленинградский проспект д. 37, к. 9 БЦ Аэростар
Тел: +7 495 664 7564 Факс: +7 495 664 7565