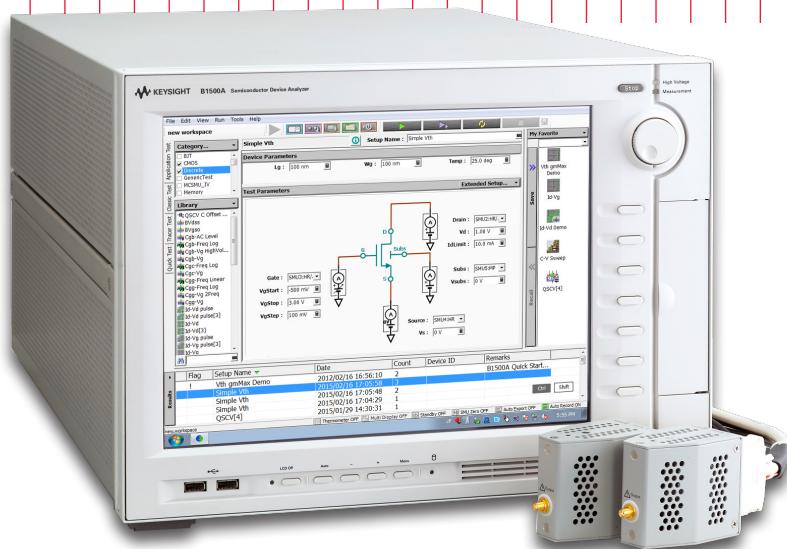


# Keysight B1500A

## Анализатор полупроводниковых приборов

Техническое  
описание



## Вводная часть

Анализатор полупроводниковых приборов Keysight B1500A из серии прецизионных анализаторов BAX – единственный универсальный параметрический анализатор с обширным набором функций, поддерживающий измерение вольт-амперных (IV), вольт-фарадных (CV), импульсных/динамических BAX и прочих характеристик. Его измерительные возможности позволяют решать любые задачи по с определению электрических свойств и параметров приборов, материалов, полупроводников, активных и пассивных компонентов, а также практических всех других типов электронных устройств, обеспечивая непревзойденную надежность, высокую производительность и воспроизводимость результатов. Кроме того, модульная архитектура анализатора B1500A, в конструкции которого предусмотрено 10 установочных гнезд для сменных блоков, дает пользователю возможность добавлять или менять измерительные модули по мере изменения решаемых задач.

Разработанное компанией Keysight программное обеспечение EasyEXPERT group+ с графическим интерфейсом пользователя может работать как в среде встроенной в анализатор B1500A операционной системы Windows 7 с 15-дюймовым сенсорным дисплеем, так и на персональном компьютере, что позволяет ускорить определение характеристик приборов. Данное ПО обеспечивает высокую производительность и воспроизводимость результатов в ходе всего процесса параметризации устройств – от наладки и выполнения измерений до анализа и управления данными, при этом измерения могут осуществляться как в ручном интерактивном режиме, так и в режиме автоматического тестирования полупроводниковых пластин с использованием полуавтоматической зондовой станции. Использование программы EasyEXPERT group+ упрощает определение характеристик устройств за счет сотен готовых измерений (прикладных тестов), а также обеспечивает автоматическое сохранение условий проведения испытания и измеренных данных. Благодаря этому исключен риск утраты ценной информации, а измерения могут выполняться повторно спустя некоторое время. Все эти универсальные возможности анализатора Keysight B1500A обеспечивают комплексное решение задач по определению характеристик полупроводниковых устройств.

## Основные функции

### Измерительные возможности

#### Измерение вольт-амперных характеристик (IV)

- Высокая точность и повторяемость результатов в диапазонах 0,1 фА – 1 А и 0,5 мкВ – 200 В
- Точечные измерения и измерения в течение определенного периода времени (свипирование)
- Временная дискретизация измерений (минимальная частота измерений составляет 100 мкс)
- Импульсные измерения с минимальной длительностью импульса 50 мкс при использовании модуля MCSMU (модуль источника/измерителя, рассчитанный на среднюю величину тока) или 500 мкс при использовании модулей MPSMU (модуль источника/измерителя большой мощности), MPSMU (модуль источника/измерителя средней мощности) или HRSMU (модуль источника/измерителя с высоким разрешением)
- Возможность использования модуля ASU (модуль коммутации и измерения аттоамперных токов) вместе с модулями MPSMU или HRSMU для обеспечения разрешающей способности при измерении на уровне 0,1 фА и переключение тракта SMU/AUX
- Для каждого типа модулей источника/измерителя (HRSMU, MPSMU и HRSMU) возможен выбор из двух АЦП (с высоким разрешением или с высоким быстродействием)

#### Измерение емкости

- Многочастотный модуль измерения полного сопротивления по переменному току определяет следующие характеристики: CV (зависимость емкости от напряжения), C-t (зависимость емкости от времени) и C-f (зависимость емкости от частоты)
- Диапазон частот при измерении емкости составляет от 1 кГц до 5 МГц
- Измерение квазистатической вольт-фарадной характеристики (QS-CV) с компенсацией тока утечки
- Автоматическое переключение между измерениями BAX (IV) и ВФХ (CV) при помощи либо опционального устройства SCUU (устройство объединения модуля источника/измерителя (SMU) и модуля измерения емкости (CMU)) и GSWU (устройства безопасного переключения), либо двух модулей ASU

#### Измерение импульсной/сверхбыстрой/переходной вольт-амперной характеристики

- Измерения с высоким быстродействием и высокой чувствительностью для построения сверхбыстрых BAX, импульсных BAX и переходных BAX, включая измерения температурной нестабильности порогового напряжения при отрицательном/положительном смещении (NBTI/PBTI), а также произвольный телеграфный шум (RTN)
- Формирование сигналов произвольной формы с программируемым разрешением до 10 нс
- Одновременные высокоскоростные измерения напряжения/тока (200 млн замеров в секунду, частота дискретизации – 5 нс)
- Технология SMU поддерживает измерение импульсной BAX без влияния линии нагрузки

#### Формирование импульсов

- Формирование импульсов напряжения амплитудой до  $\pm 40$  В, а также сигналов произвольной формы для тестирования энергонезависимой памяти
- Возможность формирования двух- и трехуровневых импульсов на одном канале

#### Платформа B1500A

- Сенсорный 15-дюймовый экран поддерживает все функции интуитивно-понятного графического интерфейса пользователя, обеспечивая удобство при измерении характеристик испытываемых устройств
- Базовый блок имеет 10 гнезд для установки сменных конфигурируемых измерительных модулей
- Предусмотрены интерфейсы GPIB, USB, LAN, а также выход видеопорта VGA

## Измерительные возможности (продолжение)

### Программное обеспечение Keysight EasyEXPERT group+:

- Доступ к среде для определения характеристик можно получить как с помощью базового блока (со встроенной ОС Windows 7), так и с помощью персонального компьютера пользователя.
- Работать с интуитивно-понятным графическим интерфейсом можно при помощи мыши, клавиатуры, а также сенсорного дисплея.
- Режим прикладного тестирования позволяет использовать сотни готовых прикладных тестов, ускоряющих измерения.
- Режим классических испытаний обеспечивает легкий доступ к обширным возможностям и функциям данного измерительного прибора.
- Графический дисплей и функция анализа облегчают обработку исходных данных без дополнительных утилит и обеспечивают возможность формирования отчетов с использованием графических данных или данных формата Excel.
- Функции индивидуальной настройки встроенной базы данных (рабочего пространства) обеспечивают автоматизированное сохранение данных испытаний и облегчают их обработку без необходимости копирования многочисленных файлов данных.
- Режим харктерографа обеспечивает управление параметрами измерений в режиме реального времени с помощью поворотного регулятора и функцией автоматического сохранения данных.
- Режим осциллографа (доступен для модулей MCSMU) поддерживает просмотр импульсных сигналов тока и напряжения, обеспечивая быстроту и легкость контроля синхронизации.
- Режим быстрого тестирования (Quick test) позволяет создавать последовательности тестов без программирования прибора.
- Управление матричными коммутаторами Keysight B2200A, B2201A и E5250A осуществляется при помощи средств графического интерфейса.
- В составе графического интерфейса предусмотрены функции самопроверки, самокалибровки и диагностики, обеспечивающие обслуживание аппаратных устройств.
- Функция дистанционного управления ПО EasyEXPERT поддерживает удаленное выполнение прикладных испытаний, созданных в интерактивном режиме графического интерфейса, при помощи локальной сети.
- Функция резервирования и защиты разнообразных данных может совместно использоваться несколькими пользователями.
- Программное обеспечение EasyEXPERT group+ может устанавливаться на требуемое количество компьютеров без дополнительных расходов, что позволит индивидуально работать в программной среде анализатора всем пользователям вашего подразделения.

### Условия гарантированного соответствия заявленным характеристикам

Погрешности измерения и источника определены на клеммах разъема, расположенного на задней панели модуля, относительно нулевого контрольного вывода. Погрешности измерения и источника модуля B1530A WGFMU (модуль генератора сигналов и быстродействующего измерителя) определены на выводе RSU (модуль дистанционных измерений и коммутации). Показатели точности указаны для следующих условий:

1. Температура:  $+23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$
2. Относительная влажность: от 20 до 60%
3. Самокалибровка после прогрева в течение 40 минут
4. После самокалибровки допускается изменение температуры окружающего воздуха не более  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  (не касается модулей MFCMU и WGFMU)
5. Измерения должны проводиться в течение одного часа после самокалибровки (не касается модулей MFCMU и WGFMU)
6. Периодичность калибровки: 1 год
7. Время интегрирования SMU:
  - 1 PLC – период питающей сети (для диапазона от 1 нА до 1 А и для всех диапазонов напряжения);
  - 20 PLC (диапазон 100 пА);
  - 50 PLC (диапазон от 1 пА до 10 пА).
- Усреднение АЦП с высоким быстродействием: 128 замеров в течение 1 периода питающей сети
8. Фильтр SMU: ВКЛ (для HPSMU, MPSMU и HRSMU)
9. Подключение измерительного вывода SMU: подключение Кельвина
10. Емкость нагрузки модуля WGFMU: 25 пФ и менее

Примечание: Данный документ содержит технические данные и дополнительные характеристики анализатора B1500A и сопутствующих модулей. Они стандартны и определены на основе тестирования анализатора B1500A и сопутствующих модулей. В случае поставки анализатора B1500A и любых сопутствующих модулей из предприятия изготовителя они соответствуют указанным техническим характеристикам. Дополнительные характеристики, приведенные в настоящем документе, не гарантированы, но содержат полезную информацию о функциях и эксплуатационных свойствах прибора.

Примечание: Компания Keysight несет ответственность за удаление, установку и замену модулей анализатора B1500A. Для установки и калибровки модулей анализатора B1500A обратитесь в ближайшее представительство Keysight

## Технические характеристики анализатора B1500A

### Поддерживаемые сменные модули

Анализатор B1500A оснащен 10 установочными гнездами для сменных модулей.

Наименование модуля	Количество занимаемых гнезд	Основные функции
B1510A Модуль источника/измерителя большой мощности (HPSMU)	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Предельные значения до 200 В / 1 А при работе в 4-квадрантном режиме</li> <li>Минимальное разрешение при измерениях – 10 фА / 2 мкВ</li> </ul>
B1511B Модуль источника/измерителя средней мощности (MPSMU)	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Предельные значения до 100 В / 0,1 А при работе в 4-квадрантном режиме</li> <li>Минимальное разрешение при измерениях – 10 фА / 0,5 мкВ</li> <li>Разрешение по измерению малых токов до уровня 100 аА и возможность переключения между ВАХ/ВФХ обеспечивается за счет дополнительного модуля коммутатора и измерителя аттоамперных токов ASU</li> </ul>
B1517A Модуль источника/измерителя с высоким разрешением (HRSMU)	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Предельные значения до 100 В / 0,1 А при работе в 4-квадрантном режиме</li> <li>Минимальное разрешение при измерениях – 1 фА / 0,5 мкВ</li> <li>Разрешение по измерению малых токов до уровня 100 аА и возможность переключения между ВАХ/ВФХ обеспечивается за счет дополнительного модуля коммутатора и измерителя аттоамперных токов ASU</li> </ul>
B1514A Модуль источника/измерителя со средним значением тока и длительностью импульсов от 50 мкс (MCSMU с импульсом 50 мкс)	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Диапазон измерений импульсных сигналов: до 30 В / 1 А (0,1 А для постоянного тока) при работе в 4-квадрантном режиме</li> <li>Длительность импульсов – от 50 мкс с разрешением 2 мкс</li> <li>Поддерживается режим осциллографа (просмотр формы сигналов напряжения/тока)</li> <li>Минимальное разрешение при измерениях – 10 пА / 0,2 мкВ</li> </ul>
B1520A Модуль многочастотного измерителя емкости (MFCMU)	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Измерение полного сопротивления при переменном токе (характеристики С-В, С-ф, С-т)</li> <li>Диапазон частот 1 кГц – 5 МГц при минимальном разрешении по частоте 1 мГц</li> <li>Встроенный источник постоянного напряжения смещения до 25 В или до 100 В при использовании модуля SMU и устройства SCUU (устройство объединения модуля SMU и модуля СМУ)</li> <li>Простое и быстрое автоматическое переключение между измерениями ВФХ и ВАХ с помощью устройства SCUU без увеличения погрешности измерений</li> </ul>
B1525A Модуль высоковольтного полупроводникового импульсного генератора (HV-SPGU)	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Высоковольтный выходной сигнал до <math>\pm 40</math> В, подходящий для тестирования энергонезависимой памяти</li> <li>Возможность формирования двух- и трехуровневых импульсов в одном канале</li> <li>Гибкие возможности по формированию сигналов произвольной формы с разрешением 10 нс (генератор линейных сигналов произвольной формы)</li> <li>Два канала на модуль</li> </ul>
B1530A Модуль генератора сигналов и быстродействующего измерителя (WGFMU)	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Высокая скорость измерений и высокая чувствительность при измерении импульсных ВАХ и ВАХ переходных процессов, включая сверхбыстрые измерения температурной нестабильности порогового напряжения при отрицательном/положительном смещении (NBFI/PBFI), измерение произвольного телеграфного шума (RTN) и пр.</li> <li>Генератор сигналов произвольной формы с программируемым разрешением 10 нс</li> <li>Одновременные высокоскоростные измерения напряжения/тока (200 млн замеров в секунду, частота замеров – 5 нс), максимальная амплитуда выходного сигнала – 10 В</li> <li>Точные измерения импульсных ВАХ без влияния линии нагрузки благодаря технологии источников/измерителей</li> </ul>

## Максимальная конфигурация модулей

Общее потребление энергии всех модулей SMU не должно превышать 84 Вт. С учетом этого ограничения в состав анализатора можно включить любую комбинацию следующих модулей SMU:

- до 10 модулей MPSMU
- до 10 модулей HRSMU
- до 4 модулей HPSMU
- до 4 модулей MCSMU

В базовом модуле анализатора B1500A можно установить только один модуль MFCMU, занимающий одно гнездо; до пяти модулей HV-SPGU, занимающих одно гнездо; или до пяти модулей WGFMU, занимающих одно гнездо.

Если в базовом модуле анализатора B1500A установлен один модуль WGFMU и более, применяется следующая таблица. Приведенные ниже значения следует умножить на количество установленных модулей соответствующего типа, а затем сложить полученные результаты. Чтобы конфигурация была допустимой, сумма произведений должна быть меньше или равной 59.

MPSMU	2
HRSMU	2
HPSMU	14
MCSMU	5
MFCMU	7
HV-SPGU	12
WGFMU	10

## Максимальное напряжение между общим выводом и выводом заземления

$\leq \pm 42$  В

## Технические характеристики модуля заземления (GNDU)

Модуль GNDU входит в стандартную комплектацию базового блока B1500A

Выходное напряжение: 0 В  $\pm 100$  мкВ

Максимальный втекающий ток:  $\pm 4,2$  А

Выходной разъем/подключение: триаксиальный разъем, подключение Кельвина (дистанционное измерение)

## Дополнительные характеристики модуля заземления (GNDU)

Емкость нагрузки: 1 мкФ

Сопротивление кабеля:

- для  $I_s \leq 1,6$  А: линия источника  $R < 1$  Ом
- для  $1,6 < IS \leq 2,0$  А: линия источника  $R < 0,7$  Ом
- для  $2,0 < IS \leq 4,2$  А: линия источника  $R < 0,35$  Ом
- Для всех случаев: линия измерителя  $R \leq 10$  Ом, где  $I_s$  – ток, втекающий в модуль GNDU

## Периферийные устройства и интерфейс

### Накопитель данных

НЖМД, дисковод DVD-R

### Интерфейсы

GPIB, защитная блокировка, USB (USB 2.0, по 2 порта на передней и задней панелях), LAN (1000BASE-T/100BASE-TX/10BASE-T), вход/выход сигнала запуска, дискретные вход/выход, видеовыход VGA

## Возможности дистанционного управления

- Команды FLEX (GPIB)
- Функция дистанционного управления программы EasyEXPERT (LAN)

## Вход/выход пускового сигнала

- Доступен только при использовании команд GPIB FLEX
- Синхронизирующие импульсы входного/выходного сигнала запуска подаются как перед настройкой и измерениями постоянного тока и напряжения, так и после этого. Произвольные события запуска можно задать маской или активировать независимо.

## Поставляемые принадлежности

- Клавиатура
- Мышь
- Стилус
- Кабель питания
- CD-ROM с руководством пользователя
- CD-ROM с программой EasyEXPERT
- CD-ROM с программным обеспечением (включая plug&play драйвер VXI и утилиты)
- Документы, подтверждающие право владения программным обеспечением EasyEXPERT

## Поставляемое программное обеспечение

- EasyEXPERT group+
- Драйвер VXI plug&play для анализатора B1500A
- Конвертер файлов формата MDM
- Данное инструментальное средство позволяет преобразовывать файлы программы EasyEXPERT (формат XTR/ZTR) в файлы формата MDM, который используется в ПО Keysight IC-CAP. Файлы EasyEXPERT поддерживаются только для следующих измерений, выполняемых в классическом режиме:
  - Определение ВАХ
  - Определение многоканальной ВАХ
  - Определение ВФХ
- Конвертер файлов настройки анализаторов моделей 4155/56

Данный конвертер позволяет преобразовывать файлы настройки измерений для анализаторов моделей 4155 и 4156 (расширение MES или DAT) в эквивалентные файлы EasyEXPERT настройки измерений в классическом режиме.

## Технические данные модулей MPSMU и HRSMU

### Диапазон напряжения, разрешение и точность (АЦП с высоким разрешением)

Диапазон напряжения	Разрешение источника	Разрешение измерителя	Точность источника <sup>1</sup>	Точность измерителя <sup>1</sup>	Максимальный ток
±0.5 В	25 мкВ	0.5 мкВ	±(0.018 % + 150 мкВ)	±(0.01 % + 120 мкВ)	100 мА
±2 В	100 мкВ	2 мкВ	±(0.018 % + 400 мкВ)	±(0.01 % + 140 мкВ)	100 мА
±5 В	250 мкВ	5 мкВ	±(0.018 % + 750 мкВ)	±(0.009 % + 250 мкВ)	100 мА
±20 В	1 мВ	20 мкВ	±(0.018 % + 3 мВ)	±(0.009 % + 900 мкВ)	100 мА
±40 В	2 мВ	40 мкВ	±(0.018 % + 6 мВ)	±(0.01 % + 1 мВ)	<sup>2</sup>
±100 В	5 мВ	100 мкВ	±(0.018 % + 15 мВ)	±(0.012 % + 2.5 мВ)	<sup>2</sup>

1. ± (% от величины показания + напряжение смещения)

2. 100 мА ( $Vo \leq 20$  В), 50 мА (20 В <  $Vo \leq 40$  В), 20 мА (40 В <  $Vo \leq 100$  В),  $Vo$  – выходное напряжение в вольтах

### Диапазон тока, разрешение и точность (АЦП с высоким разрешением)

Тип SMU	Диапазон тока	Разрешение источника	Разрешение измерителя <sup>1,2</sup>	Точность источника <sup>3</sup>	Точность измерителя <sup>3</sup>	Максимальное напряжение
	HRSMU	1 пА	1 фА	100 аА		
MPSMU Вт/ ASU	HRSMU	±10 пА	5 фА	400 аА (Втith ASU) 1 фА (HRSMU)	±(0.46 % + 30 фА + 10 аА x $Vo$ )	100 В
		±100 пА	5 фА	500 аА (Втith ASU) 2 фА (HRSMU)	±(0.3 % + 100 фА + 100 аА x $Vo$ )	100 В
		±1 нА	50 фА	10 фА	±(0.1 % + 300 фА + 1 фА x $Vo$ )	100 В
MPSMU		±10 нА	500 фА	10 фА	±(0.1 % + 3 пА + 10 фА x $Vo$ )	100 В
		±100 нА	5 пА	100 фА	±(0.05 % + 30 пА + 100 фА x $Vo$ )	100 В
		±1 мкА	50 пА	1 пА	±(0.05 % + 300 пА + 1 пА x $Vo$ )	100 В
		±10 мкА	500 пА	10 пА	±(0.05 % + 3 нА + 10 пА x $Vo$ )	100 В
		±100 мкА	5 нА	100 пА	±(0.035 % + 15 нА + 100 пА x $Vo$ )	100 В
		±1 мА	50 нА	1 нА	±(0.04 % + 150 нА + 1 нА x $Vo$ )	100 В
		±10 мА	500 нА	10 нА	±(0.04 % + 1.5 мкА + 10 нА x $Vo$ )	100 В
		±100 мА	5 мкА	100 нА	±(0.045 % + 15 мкА + 100 нА x $Vo$ )	100 В
					±(0.04 % + 6 мкА + 100 нА x $Vo$ )	<sup>4</sup>

1. Указанное разрешение измерителя ограничено пределами основного шума. Минимальное отображаемое разрешение составляет 1 аА при диапазоне 1 пА, 6 разрядов.

2. На измерения в нижних диапазонах могут существенно влиять вибрация и удары. Приведенные данные предполагают наличие среды, свободной от указанных факторов.

3. ± (% от величины показания + ток смещения (фиксированная часть определяется диапазоном выходных/измеренных значений + пропорциональная часть, умноженная на  $Vo$ )).

4. 100 В ( $Io \leq 20$  мА), 40 В (20 мА <  $Io \leq 50$  мА), 20 В (50 мА <  $Io \leq 100$  мА),  $Io$  – выходной ток в амперах.

## Диапазон напряжения, разрешение и точность (АЦП с высоким быстродействием)

Диапазон напряжения	Разрешение источника	Разрешение измерителя	Точность источника <sup>1</sup>	Точность измерителя <sup>1</sup>	Максимальный ток
±0.5 В	25 мкВ	25 мкВ	±(0.018 % + 150 мкВ)	±(0.01 % + 250 мкВ)	100 мА
±2 В	100 мкВ	100 мкВ	±(0.018 % + 400 мкВ)	±(0.01 % + 700 мкВ)	100 мА
±5 В	250 мкВ	250 мкВ	±(0.018 % + 750 мкВ)	±(0.01 % + 2 мВ)	100 мА
±20 В	1 мВ	1 мВ	±(0.018 % + 3 мВ)	±(0.01 % + 4 мВ)	100 мА
±40 В	2 мВ	2 мВ	±(0.018 % + 6 мВ)	±(0.015 % + 8 мВ)	<sup>2</sup>
±100 В	5 мВ	5 мВ	±(0.018 % + 15 мВ)	±(0.02 % + 20 мВ)	<sup>2</sup>

1. ± (%) от величины показания + напряжение смещения В)

2. 100 мА ( $V_o \leq 20$  В), 50 мА (20 В <  $V_o \leq 40$  В), 20 мА (40 В <  $V_o \leq 100$  В),  $V_o$  – выходное напряжение в вольтах

## Диапазон тока, разрешение и точность (АЦП с высоким быстродействием)

Тип SMU	Диапазон тока	Разрешение источника	Разрешение измерителя <sup>1,2</sup>	Точность источника <sup>3</sup>	Точность измерителя <sup>3</sup>	Максимальное напряжение	
MPSMU Bt/ASU	HRSMU	±1 пА	1 фА	±(0.9 % + 15 фА)	±(1.8 % + 12 фА)	100 В	
	Bt/ASU	HRSMU	±10 пА	5 фА	1 фА	±(0.46 % + 30 фА + 10 аА x $V_o$ )	±(0.5 % + 15 фА + 10 аА x $V_o$ )
		±100 пА	5 фА	5 фА	±(0.3 % + 100 фА + 100 аА x $V_o$ )	±(0.5 % + 40 фА + 100 аА x $V_o$ )	100 В
MPSMU	±1 нА	50 фА	50 фА	±(0.1 % + 300 фА + 1 фА x $V_o$ )	±(0.25 % + 300 фА + 1 фА x $V_o$ )	100 В	
	±10 нА	500 фА	500 фА	±(0.1 % + 3 пА + 10 фА x $V_o$ )	±(0.25 % + 2 пА + 10 фА x $V_o$ )	100 В	
	±100 нА	5 пА	5 пА	±(0.05 % + 30 пА + 100 фА x $V_o$ )	±(0.1 % + 20 пА + 100 фА x $V_o$ )	100 В	
	±1 мкА	50 пА	50 пА	±(0.05 % + 300 пА + 1 пА x $V_o$ )	±(0.1 % + 200 пА + 1 пА x $V_o$ )	100 В	
	±10 мкА	500 пА	500 пА	±(0.05 % + 3 нА + 10 пА x $V_o$ )	±(0.05 % + 2 нА + 10 пА x $V_o$ )	100 В	
	±100 мкА	5 нА	5 нА	±(0.035 % + 15 нА + 100 пА x $V_o$ )	±(0.05 % + 20 нА + 100 пА x $V_o$ )	100 В	
	±1 мА	50 нА	50 нА	±(0.04 % + 150 нА + 1 нА x $V_o$ )	±(0.04 % + 200 нА + 1 нА x $V_o$ )	100 В	
	±10 мА	500 нА	500 нА	±(0.04 % + 1.5 мкА + 10 нА x $V_o$ )	±(0.04 % + 2 мкА + 10 нА x $V_o$ )	100 В	
	±100 мА	5 мкА	5 мкА	±(0.045 % + 15 мкА + 100 нА x $V_o$ )	±(0.1 % + 20 мкА + 100 нА x $V_o$ )	<sup>4</sup>	

1. Указанное разрешение измерителя ограничено пределами основного шума. Минимальное отображаемое разрешение составляет 1 аА при диапазоне 1 пА, 6 разрядов.

2. На измерения в нижних диапазонах могут существенно влиять вибрация и удары. Приведенные данные предполагают наличие среды, свободной от указанных факторов.

3. ± (%) от величины показания + ток смещения (фиксированная часть определяется диапазоном выходных/измеренных значений + пропорциональная часть, умноженная на  $V_o$ ).

4. 100 В ( $I_o \leq 20$  мА), 40 В (20 мА <  $I_o \leq 50$  мА), 20 В (50 мА <  $I_o \leq 100$  мА),  $I_o$  – выходной ток в амперах.

## Потребление энергии

### Режим источника напряжения

Диапазон напряжения	Мощность
0.5 В	20 x $I_c$ (Вт)
2 В	20 x $I_c$ (Вт)
5 В	20 x $I_c$ (Вт)
20 В	20 x $I_c$ (Вт)
40 В	40 x $I_c$ (Вт)
100 В	100 x $I_c$ (Вт)

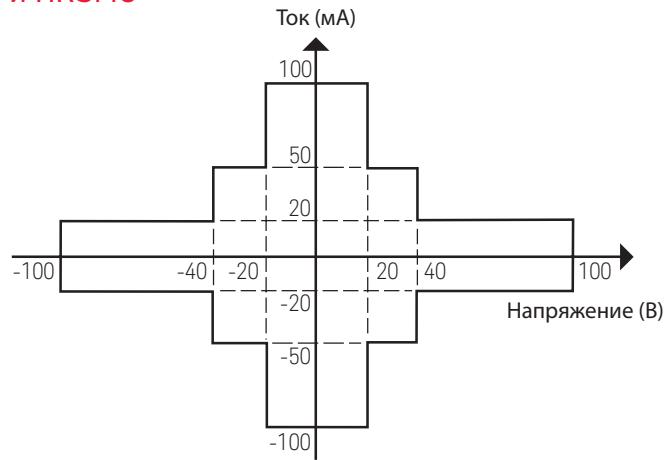
Где  $I_c$  – уставка ограничения тока

### Режим источника тока

Voltage compliance	Мощность
$V_c \leq 20$	20 x $I_o$ (Вт)
$20 < V_c \leq 40$	40 x $I_o$ (Вт)
$40 < V_c \leq 100$	100 x $I_o$ (Вт)

Где  $V_c$  – уставка ограничения напряжения, а  $I_o$  – выходной ток

## Диапазон измеряемых и выходных значений модулей MPSMU и HRSMU



## Технические данные модуля HPSMU

### Диапазон напряжения, разрешение и точность (АЦП высокого разрешения)

Диапазон напряжения	Разрешение источника	Measure resolution	Точность источника <sup>1</sup>	Точность измерителя <sup>1</sup>	Максимальный ток
±2 В	100 мкВ	2 мкВ	±(0.018 % + 400 мкВ)	±(0.01 % + 140 мкВ)	1 А
±20 В	1 мВ	20 мкВ	±(0.018 % + 3 мВ)	±(0.009 % + 900 мкВ)	1 А
±40 В	2 мВ	40 мкВ	±(0.018 % + 6 мВ)	±(0.01 % + 1 мВ)	500 мА
±100 В	5 мВ	100 мкВ	±(0.018 % + 15 мВ)	±(0.012 % + 2.5 мВ)	125 мА
±200 В	10 мВ	200 мкВ	±(0.018 % + 30 мВ)	±(0.014 % + 2.8 мВ)	50 мА

1. ± (% от величины показания + напряжение смещения)

### Диапазон тока, разрешение и точность (АЦП высокого разрешения)

Диапазон тока	Разрешение источника	Разрешение измерителя <sup>1</sup>	Точность и сточника <sup>2</sup>	Точность измерителя <sup>2</sup>	Максимальное напряжение
±1 нА	50 фА	10 фА	±(0.1 % + 300 фА + 1 фА x Vo)	±(0.1 % + 200 фА + 1 фА x Vo)	200 В
±10 нА	500 фА	10 фА	±(0.1 % + 3 пА + 10 фА x Vo)	±(0.1 % + 1 пА + 10 фА x Vo)	200 В
±100 нА	5 пА	100 фА	±(0.05 % + 30 пА + 100 фА x Vo)	±(0.05 % + 20 пА + 100 фА x Vo)	200 В
±1 мкА	50 пА	1 пА	±(0.05 % + 300 пА + 1 пА x Vo)	±(0.05 % + 100 пА + 1 пА x Vo)	200 В
±10 мкА	500 пА	10 пА	±(0.05 % + 3 нА + 10 пА x Vo)	±(0.04 % + 2 нА + 10 пА x Vo)	200 В
±100 мкА	5 нА	100 пА	±(0.035 % + 15 нА + 100 пА x Vo)	±(0.03 % + 3 нА + 100 пА x Vo)	200 В
±1 мА	50 нА	1 нА	±(0.04 % + 150 нА + 1 нА x Vo)	±(0.03 % + 60 нА + 1 нА x Vo)	200 В
±10 мА	500 нА	10 нА	±(0.04 % + 1.5 мкА + 10 нА x Vo)	±(0.03 % + 200 нА + 10 нА x Vo)	200 В
±100 мА	5 мкА	100 нА	±(0.045 % + 15 мкА + 100 нА x Vo)	±(0.04 % + 6 мкА + 100 нА x Vo)	<sup>3</sup>
±1 А	50 мкА	1 мкА	±(0.4 % + 300 мкА + 1 мкА x Vo)	±(0.4 % + 150 мкА + 1 мкА x Vo)	<sup>3</sup>

1. Указанное разрешение измерителя ограничено пределами основного шума.

2. ± (% от величины показания + ток смещения (фиксированная часть определяется диапазоном выходных/измеренных значений + пропорциональная часть, умноженная на Vo)).

3. 200 В (Io ≤ 50 мА), 100 В (50 мА < Io ≤ 125 мА), 40 В (125 мА < Io ≤ 500 мА), 20 В (500 мА < Io ≤ 1 А), Io – выходной ток в амперах.

### Диапазон напряжения, разрешение и точность (АЦП высокого быстродействия)

Диапазон напряжения	Разрешение источника	Разрешение измерителя	Точность источника <sup>1</sup>	Точность измерителя <sup>1</sup>	Максимальный ток
±2 В	100 мкВ	100 мкВ	±(0.018 % + 400 мкВ)	±(0.01 % + 700 мкВ)	1 А
±20 В	1 мВ	1 мВ	±(0.018 % + 3 мВ)	±(0.01 % + 4 мВ)	1 А
±40 В	2 мВ	2 мВ	±(0.018 % + 6 мВ)	±(0.015 % + 8 мВ)	500 мА
±100 В	5 мВ	5 мВ	±(0.018 % + 15 мВ)	±(0.02 % + 20 мВ)	125 мА
±200 В	10 мВ	10 мВ	±(0.018 % + 30 мВ)	±(0.035 % + 40 мВ)	50 мА

1. ± (% от величины показания + напряжение смещения В).

## Диапазон тока, разрешение и точность (АЦП высокого быстродействия)

Диапазон тока	Разрешение источника	Разрешение измерителя <sup>1</sup>	Точность источника <sup>2</sup>	Точность измерителя <sup>2</sup>	Максимальное напряжение
±1 нА	50 фА	50 фА	±(0.1 % + 300 фА + 1 фА x Vo)	±(0.25 % + 300 фА + 1 фА x Vo)	200 В
±10 нА	500 фА	500 фА	±(0.1 % + 3 пА + 10 фА x Vo)	±(0.25 % + 2 пА + 10 фА x Vo)	200 В
±100 нА	5 пА	5 пА	±(0.05 % + 30 пА + 100 фА x Vo)	±(0.1 % + 20 пА + 100 фА x Vo)	200 В
±1 мкА	50 пА	50 пА	±(0.05 % + 300 пА + 1 пА x Vo)	±(0.1 % + 200 пА + 1 пА x Vo)	200 В
±10 мкА	500 пА	500 пА	±(0.05 % + 3 нА + 10 пА x Vo)	±(0.05 % + 2 нА + 10 пА x Vo)	200 В
±100 мкА	5 нА	5 нА	±(0.035 % + 15 нА + 100 пА x Vo)	±(0.05 % + 20 нА + 100 пА x Vo)	200 В
±1 мА	50 нА	50 нА	±(0.04 % + 150 нА + 1 нА x Vo)	±(0.04 % + 200 нА + 1 нА x Vo)	200 В
±10 мА	500 нА	500 нА	±(0.04 % + 1.5 мкА + 10 нА x Vo)	±(0.04 % + 2 мкА + 10 нА x Vo)	200 В
±100 мА	5 мкА	5 мкА	±(0.045 % + 15 мкА + 100 нА x Vo)	±(0.1 % + 20 мкА + 100 нА x Vo)	<sup>3</sup>
±1 А	50 мкА	50 мкА	±(0.4 % + 300 мкА + 1 мкА x Vo)	±(0.5 % + 300 мкА + 1 мкА x Vo)	<sup>3</sup>

1. Указанное разрешение измерителя ограничено пределами основного шума.

2. ± (% от величины показания + ток смещения (фиксированная часть определяется диапазоном выходных/измеренных значений + пропорциональная часть, умноженная на Vo)).

3. 200 В ( $Io \leq 50$  мА), 100 В ( $50$  мА  $< Io \leq 125$  мА), 40 В ( $125$  мА  $< Io \leq 500$  мА), 20 В ( $500$  мА  $< Io \leq 1$  А),  $Io$  – выходной ток в амперах.

## Потребление энергии

### Режим источника напряжения

Диапазон напряжения	Мощность
2 В	20 x $I_c$ (Вт)
20 В	20 x $I_c$ (Вт)
40 В	40 x $I_c$ (Вт)
100 В	100 x $I_c$ (Вт)
200 В	200 x $I_c$ (Вт)

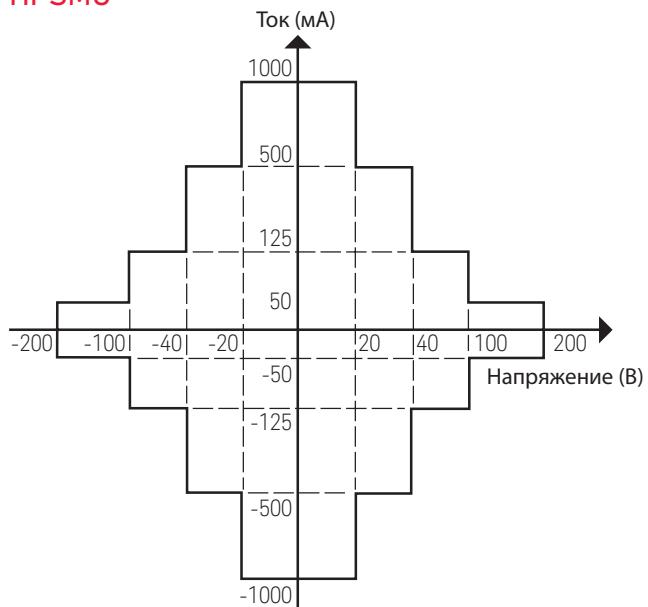
Где  $I_c$  – уставка ограничения тока

### Режим источника тока

Voltage compliance	Мощность
$V_c \leq 20$	20 x $I_o$ (Вт)
$20 < V_c \leq 40$	40 x $I_o$ (Вт)
$40 < V_c \leq 100$	100 x $I_o$ (Вт)
$100 < V_c \leq 200$	200 x $I_o$ (Вт)

Где  $V_c$  – уставка ограничения напряжения, а  $I_o$  – выходной ток

## Диапазон измеряемых и выходных значений модуля HPSMU



## Технические данные модуля MCSMU

### Диапазон напряжения, разрешение и точность

Диапазон напряжения	Разрешение источника	Разрешение измерителя	Точность источника <sup>1</sup> ±(% + мВ)	Точность измерителя <sup>1</sup> (% + мВ + мВ)	Максимальный ток
±0.2 В	200 нВ	200 нВ	±(0.06 + 0.14)	±(0.06 + 0.14)	1 А
±2 В	2 мкВ	2 мкВ	±(0.06 + 0.6)	±(0.06 + 0.6)	1 А
±20 В	20 мкВ	20 мкВ	±(0.06 + 3)	±(0.06 + 3)	1 А
±40 В2	40 мкВ	40 мкВ	±(0.06 + 3)	±(0.06 + 3)	1 А

1. ± (% от величины показания + фиксированное смещение в мВ + пропорциональное смещение в мВ). Примечание:  $I_o$  – выходной ток в амперах.

2. Максимальное выходное напряжение составляет 30 В.

### Диапазон тока, разрешение и точность

Диапазон тока	Разрешение источника	Разрешение измерителя	Точность источника <sup>1</sup> (% + А + А)	Точность измерителя <sup>1</sup> (% + А + А)	Максимальное напряжение
±10 мкА	10 пА	10 пА	±(0.06 + 2E-9 + $V_o \times 1E-10$ )	±(0.06 + 2E-9 + $V_o \times 1E-10$ )	30 В
±100 мкА	100 пА	100 пА	±(0.06 + 2E-8 + $V_o \times 1E-9$ )	±(0.06 + 2E-8 + $V_o \times 1E-9$ )	30 В
±1 мА	1 нА	1 нА	±(0.06 + 2E-7 + $V_o \times 1E-8$ )	±(0.06 + 2E-7 + $V_o \times 1E-8$ )	30 В
±10 мА	10 нА	10 нА	±(0.06 + 2E-6 + $V_o \times 1E-7$ )	±(0.06 + 2E-6 + $V_o \times 1E-7$ )	30 В
±100 мА	100 нА	100 нА	±(0.06 + 2E-5 + $V_o \times 1E-6$ )	±(0.06 + 2E-5 + $V_o \times 1E-6$ )	30 В
±1 А2	1 мкА	1 мкА	±(0.4 + 2E-4 + $V_o \times 1E-5$ )	±(0.4 + 2E-4 + $V_o \times 1E-5$ )	30 В

1. ± (% от величины показания + фиксированное смещение в А + пропорциональное смещение в А). Примечание:  $V_o$  – выходное напряжение в вольтах.

2. Только импульсный режим. Максимальное значение базового тока во время пульсации составляет ±50 мА.

### Потребление энергии

#### Режим источника напряжения

Диапазон напряжения	Мощность
0.2 В	40 x $I_c$ (Вт)
2 В	40 x $I_c$ (Вт)
40 В	40 x $I_c$ (Вт)

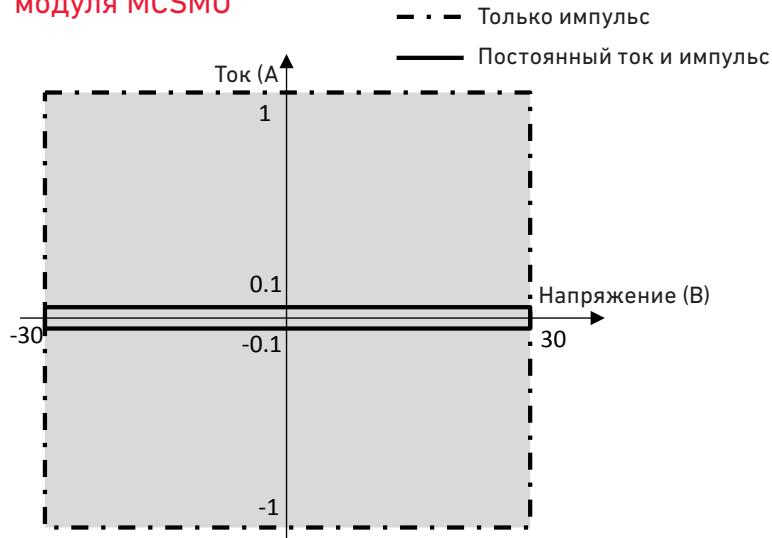
Где  $I_c$  – уставка ограничения тока

#### Режим источника тока

Voltage compliance	Мощность
$V_c \leq 0.2$	40 x $I_o$ (Вт)
$0.2 < V_c \leq 2$	40 x $I_o$ (Вт)
$2 < V_c \leq 40$	40 x $I_o$ (Вт)

Где  $V_c$  – уставка ограничения напряжения, а  $I_o$  – выходной ток

### Диапазон измеряемых и выходных значений модуля MCSMU



## Выходной разъем/подключение

Двойной триаксиальный разъем, подключение Кельвина (дистанционное измерение)

## Ограничение напряжения/тока

Модуль SMU способен ограничивать выходное напряжение или ток, чтобы предупредить повреждение испытываемого устройства.

Напряжение:

от 0 В до  $\pm 100$  В (MPSMU, HRSMU)

от 0 В до  $\pm 200$  В (HPSMU)

от 0 В до  $\pm 30$  В (MCSMU)

Ток:

от  $\pm 10$  фА до  $\pm 100$  мА (HRSMU/MPSMU с ASU)

от  $\pm 100$  фА до  $\pm 100$  мА (HRSMU)

от  $\pm 1$  пА до  $\pm 100$  мА (MPSMU)

от  $\pm 1$  пА до  $\pm 1$  А (HPSMU)

от  $\pm 10$  нА до  $\pm 1$  А (MCSMU)

Точность ограничения:

Аналогична точности настройки тока или напряжения

## Сведения о точности измерений

Радиочастотное электромагнитное поле и точность измерения модуля SMU:

Точность измерения напряжения и тока, выполненного модулем SMU, может изменяться под влиянием радиочастотного электромагнитного поля с напряжением более 3 В/м и диапазоном частот от 80 МГц до 1 ГГц. Степень влияния данного эффекта зависит от того, как расположен и экранирован измерительный прибор.

Наведенные радиочастотным полем помехи и точность измерения модуля SMU:

Точность измерения напряжения и тока, выполненного модулем SMU, может изменяться под влиянием помех от радиочастотного поля с напряжением более 3 В<sub>эфф</sub> и диапазоном частот от 150 кГц до 80 МГц. Степень влияния данного эффекта зависит от того, как расположен и экранирован измерительный прибор.

## Импульсные измерения

Длительность, период повторения и задержка программируемого импульса:

Для модулей HPSMU, MPSMU и HRSMU

Длительность импульса: от 500 мкс до 2 с

Период повторения импульса: от 5 мс до 5 с

Период  $\geq$  длительность + 2 мс (если длительность  $\leq$  100 мс)

Период  $\geq$  длительность + 10 мс (если длительность  $>$  100 мс)

Разрешение импульса: 100 мкс

Задержка импульса: 0 с

Для модуля MCSMU

Длительность импульса:

от 10 мкс\* до 100 мс (диапазон 1 А)

от 10 мкс\* до 2 с (диапазон от 10 мкА до 100 мА)

Разрешение длительности импульса: 2 мкс

Период импульса: от 5 мс до 5 с

Разрешение периода импульса: 100 мкс

Заполнение импульса:

Для диапазона 1 А:  $\leq$  5 %

Для диапазона от 10 мкА до 100 мА

Период  $\geq$  задержка + длительность + 2 мс (если задержка + длительность  $\leq$  100 мс)

Период  $\geq$  задержка + длительность + 10 мс (если задержка + длительность  $>$  100 мс)

Задержка импульса: от 0 с до (период-длительность)

\* Рекомендованная длительность импульса  $\geq$  50 мкс

При резистивной нагрузке  $>$  50 Ом, ступенчатом напряжении 10 В и ограничении 1 А время достижения находится в пределах 1 % от окончательного значения (дополнительные характеристики)

## Дополнительные характеристики

### Точность настройки ограничения тока

(для противоположной полярности)

Для модулей HPSMU, MPSMU и HRSMU:

Для диапазона от 1 пА до 10 нА:  $\pm$  (точность настройки + 12 % диапазона)

Для диапазона от 100 нА до 1 А:  $\pm$  (точность настройки + 2,5 % диапазона)

Для модуля MCSMU:  $\pm$  (точность настройки + 2,5 % диапазона)

### Точность настройки импульса SMU (фиксированный диапазон измерений)

Для модулей HPSMU, MPSMU и HRSMU:

Длительность:  $\pm 0,5\% \pm 50$  мкс

Период:  $\pm 0,5\% \pm 100$  мкс

Для модуля MCSMU:

Длительность:  $\pm 0,1\% \pm 2$  мкс

Период:  $\pm 0,1\% \pm 100$  мкс

### Минимальное время импульса при измерении:

16 мкс (HPSMU, MPSMU и HRSMU)

2 мкс (MCSMU)

### Выходное активное сопротивление источника напряжения:

(провод источника, подключение не по схеме Кельвина)

0,2 Ом (HPSMU)

0,3 Ом (MPSMU, HRSMU)

### Активное сопротивление входа измерения напряжения:

$\geq 10^{13}$  Ом (HPSMU, MPSMU и HRSMU)

$\geq 10^9$  Ом (MCSMU,  $\leq 1$  А)

### Выходное активное сопротивление источника тока:

$\geq 10^{13}$  Ом (HPSMU, MPSMU и HRSMU)

$\geq 10^9$  Ом (MCSMU,  $\leq 1$  А)

### Максимальное допустимое активное сопротивление кабеля:

(подключение по схеме Кельвина)

Для модулей HPSMU, MPSMU и HRSMU:

Линия измерителя: 10 м

Линия источника: 10 Ом ( $\leq 100$  мА); 1,5 Ом ( $>100$  мА)

Для модуля MCSMU

Линия измерителя: 10 Ом

Линия источника: 1 Ом

между выводами High и Low

### Максимальная допустимая индуктивность:

Линия источника 3 мкГн с выводом источника Low в качестве экрана (MCSMU)

### Максимальная емкость нагрузки:

Для модулей HPSMU, MPSMU и HRSMU:

пределы от 1 пА до 10 нА: 1000 пФ

пределы от 100 нА до 10 мА: 10 нФ

пределы от 100 мА и 1 А: 100 мкФ

Для модуля MCSMU:

пределы от 10 мкА до 10 мА: 12 нФ

пределы от 100 мА до 1 А: 100 мкФ

### Максимальная емкость guard-экрана:

900 пФ (HPSMU, MPSMU и HRSMU)

660 пФ (HRSMU/MPSMU с ASU)

### Максимальная емкость shield-экрана:

5000 пФ (HPSMU, MPSMU и HRSMU)

3500 пФ (HRSMU/MPSMU с ASU)

### Характеристики шума:

Для модулей HPSMU, MPSMU и HRSMU (фильтр ВКЛ)

Источник напряжения: 0,01 % от диапазона значений напряжения (СК3)

Источник тока: 0,1% от диапазона значений тока (СК3)

Для модуля MCSMU

Источник напряжения/тока: макс. 200 мВ (от 0 до пика)

### Перерегулирование (фильтр ВКЛ):

Для модулей HPSMU, MPSMU и HRSMU

Источник напряжения: 0,03 % от диапазона значений напряжения

Источник тока: 1 % от диапазона значений тока

Для модуля MCSMU

Источник напряжения/тока: 10 % от диапазона

### Переходный шум при переключении диапазонов:

Для модулей HPSMU, MPSMU и HRSMU (фильтр ВКЛ):

Переключение диапазонов напряжения: 250 мВ

Переключение диапазонов тока: 70 мВ

Для модуля MCSMU:

Переключение диапазонов напряжения: 250 мВ

Переключение диапазонов тока: 70 мВ

### Максимальное напряжение смещения guard-экрана:

$\pm 1$  мВ (HPSMU)

$\pm 3$  мВ (MPSMU, HRSMU)

$\pm 4,2$  мВ (HRSMU/MPSMU с ASU,  $I_{\text{вых}} \leq 100$  мкА)

### Максимальная скорость нарастания:

0,2 В/мкс (HPSMU, MPSMU и HRSMU)

1 В/мкс (MCSMU)

### Максимальное плавающее напряжение постоянного тока:

$\pm 200$  В постоянного тока между выводом Low источника и общей клеммой (MCSMU)

## Технические характеристики модуля MFCMU (Модуль многочастотного измерителя емкости)

### Функции измерения

Измеряемые параметры:

Cp-G, Cp-D, Cp-Q, Cp-Rp, Cs-Rs, Cs-D, Cs-Q, Lp-G, Lp-D, Lp-Q, Lp-Rp, Ls-Rs, Ls-D, Ls-Q, R-X, G-B, Z-q, Y-q

Диапазон значений:

Автоматический и фиксированный

Измерительный вывод:

Пара с четырьмя клеммами, четыре разъема BNC (розетка)

Длина кабеля:

1,5 или 3 м, автоматическая идентификация принадлежностей

### Тестовый сигнал

Частота:

Диапазон: от 1 кГц до 5 МГц

Разрешение: 1 мГц (минимум)

Точность:  $\pm 0,008\%$

Уровень выходного сигнала:

Диапазон: от 10 мВ<sub>СКЗ</sub> до 250 мВ<sub>СКЗ</sub>

Разрешение: 1 мВ<sub>СКЗ</sub>

Точность:

$\pm(10,0\% + 1 \text{ мВ}_{\text{СКЗ}})$

на измерительном порте модуля MFCMU

$\pm(15,0\% + 1 \text{ мВ}_{\text{СКЗ}})$

на измерительном порте кабеля MFCMU (длиной 1,5 или 3,0 м)

Полное сопротивление выхода: 50 Ом, стандартно

Монитор уровня сигнала:

Диапазон: от 10 мВ<sub>СКЗ</sub> до 250 мВ<sub>СКЗ</sub>

Точность (цепь нагрузки разомкнута):

$\pm(10,0\% \text{ показания} + 1 \text{ мВ}_{\text{СКЗ}})$

на измерительном порте модуля MFCMU

$\pm(15,0\% \text{ показания} + 1 \text{ мВ}_{\text{СКЗ}})$

на измерительном порте кабеля MFCMU (длиной 1,5 или 3,0 м)

### Функция смещения постоянным током:

Смещение постоянного тока:

Диапазон: от 0 до  $\pm 25$  В

Разрешение: 1 мкВ

Точность:  $\pm(0,5\% + 5,0 \text{ мВ})$

на измерительном порте модуля MFCMU или кабеля MFCMU (длиной 1,5 или 3,0 м)

### Максимальный ток смещения постоянным током (дополнительные характеристики)

Диапазон импеданса	Максимальный ток смещения постоянным током
50 Ом	10 мА
100 Ом	10 мА
300 Ом	10 мА
1 кОм	1 мА
3 кОм	1 мА
10 кОм	100 мкА
30 кОм	100 мкА
100 кОм	10 мкА
300 кОм	10 мкА

Полное сопротивление выхода: 50 Ом, стандартно

Монитор смещения постоянного тока:

Диапазон: от 0 до  $\pm 25$  В

Точность (цепь нагрузки разомкнута):

$\pm(0,2\% \text{ показания} + 10,0 \text{ мВ})$  на измерительном порте модуля MFCMU или кабеля MFCMU (длиной 1,5 или 3,0 м)

### Характеристики развертки

Доступные параметры развертки:

Уровень осциллятора, напряжение смещения постоянного тока, частота

Тип развертки: линейная, логарифмическая

Режим развертки: одиночная, двойная

Направление развертки: вверх и вниз

Количество точек измерения:

максимум 1001 точка

## Погрешность измерения

Для выражения погрешности измерения импеданса на измерительном порте модуля MFCMU или кабеля MFCMU (длиной 1,5 или 3,0 м) используются следующие параметры:

$Z_x$ : измеренное значение импеданса (Ом)

$D_x$ : измеренное значение D

$$E = E_p' + (Z_s'/|Z_x| + Y_0'|Z_x|) \times 100 \text{ (\%)}$$

$$E_p' = E_{PL} + E_{POSC} + E_p \text{ (\%)}$$

$$Y_0' = Y_{OL} + Y_{OSC} + Y_0 \text{ (См)}$$

$$Z_s' = Z_{SL} + Z_{OSC} + Z_s \text{ (Ом)}$$

$|Z|$  погрешность

$$\pm E \text{ (\%)}$$

q погрешность

$$\pm E/100 \text{ (rad)}$$

C погрешность

при  $D_x \leq 0.1$

$$\pm E \text{ (\%)}$$

при  $D_x > 0.1$

$$\pm E \times \sqrt{(1 + D_x^2)} \text{ (\%)}$$

D погрешность

при  $D_x \leq 0.1$

$$\pm E/100$$

при  $D_x > 0.1$

$$\pm E \times (1 + D_x)/100$$

G погрешность

при  $D_x \leq 0.1$

$$\pm E / D_x \text{ (\%)}$$

при  $D_x > 0.1$

$$\pm E \times \sqrt{(1 + D_x^2) / D_x} \text{ (\%)}$$

Примечание: погрешность измерений указана для следующих

условий:

Температура: 23 °C ±5 °C

Время интегриации: 1 или 16 PLC

(периодов сети питания)

### Параметры $E_{\text{POSC}}$ $Z_{\text{osc}}$

Уровень сигнала осциллятора	$E_{\text{POSC}} (\%)$	$Z_{\text{osc}} (\text{мОм})$
$125 \text{ мВ} < V_{\text{osc}} \leq 250 \text{ мВ}$	$0.03 \times (250 / V_{\text{osc}} - 1)$	$5 \times (250 / V_{\text{osc}} - 1)$
$64 \text{ мВ} < V_{\text{osc}} \leq 125 \text{ мВ}$	$0.03 \times (125 / V_{\text{osc}} - 1)$	$5 \times (125 / V_{\text{osc}} - 1)$
$32 \text{ мВ} < V_{\text{osc}} \leq 64 \text{ мВ}$	$0.03 \times (64 / V_{\text{osc}} - 1)$	$5 \times (64 / V_{\text{osc}} - 1)$
$V_{\text{osc}} \leq 32 \text{ мВ}$	$0.03 \times (32 / V_{\text{osc}} - 1)$	$5 \times (32 / V_{\text{osc}} - 1)$

$V_{\text{osc}}$  – уровень сигнала осциллятора в милливольтах

### Параметры $E_{\text{PL}}$ $Y_{\text{OL}}$ $Z_{\text{SL}}$

Длина кабеля	$E_{\text{PL}} (\%)$	$Y_{\text{OL}} (\text{нСм})$	$Z_{\text{SL}} (\text{мОм})$
1.5 м	$0.02 + 3 \times f/100$	$750 \times f/100$	5.0
3 м	$0.02 + 5 \times f/100$	$1500 \times f/100$	5.0

$f$  – частота в МГц. Если длина измерительного кабеля увеличена, следует обеспечить компенсацию разрыва цепи, КЗ цепи, компенсацию при нагрузке

### Параметры $Y_{\text{osc}}$ $Y_0$ $E_p$ $Z_s$

Частота	$Y_{\text{osc}} (\text{нСм})$	$Y_0 (\text{нСм})$	$E_p (\%)$	$Z_s (\text{мОм})$
$1 \text{ кГц} \leq f \leq 200 \text{ кГц}$	$1 \times (125 / V_{\text{osc}} - 0.5)$	1.5	0.095	5.0
$200 \text{ кГц} < f \leq 1 \text{ МГц}$	$2 \times (125 / V_{\text{osc}} - 0.5)$	3.0	0.095	5.0
$1 \text{ МГц} < f \leq 2 \text{ МГц}$	$2 \times (125 / V_{\text{osc}} - 0.5)$	3.0	0.28	5.0
$2 \text{ МГц} < f$	$20 \times (125 / V_{\text{osc}} - 0.5)$	30.0	0.28	5.0

$f$  – частота в МГц

$V_{\text{osc}}$  – уровень сигнала осциллятора в милливольтах

### Пример расчетной погрешности измерения С/Г

Частота	Измеренная емкость	Погрешность $C^1$	Измеренная проводимость	Погрешность $G^1$
5 МГц	1 пФ	$\pm 0.61 \%$	$\leq 3 \text{ мкСм}$	$\pm 192 \text{ нСм}$
	10 пФ	$\pm 0.32 \%$	$\leq 31 \text{ мкСм}$	$\pm 990 \text{ нСм}$
	100 пФ	$\pm 0.29 \%$	$\leq 314 \text{ мкСм}$	$\pm 9 \text{ мкСм}$
	1 нФ	$\pm 0.32 \%$	$\leq 3 \text{ мСм}$	$\pm 99 \text{ мкСм}$
1 МГц	1 пФ	$\pm 0.26 \%$	$\leq 628 \text{ нСм}$	$\pm 16 \text{ нСм}$
	10 пФ	$\pm 0.11 \%$	$\leq 6 \text{ мкСм}$	$\pm 71 \text{ нСм}$
	100 пФ	$\pm 0.10 \%$	$\leq 63 \text{ мкСм}$	$\pm 624 \text{ нСм}$
	1 нФ	$\pm 0.10 \%$	$\leq 628 \text{ мкСм}$	$\pm 7 \text{ мкСм}$
100 кГц	10 пФ	$\pm 0.18 \%$	$\leq 628 \text{ нСм}$	$\pm 11 \text{ нСм}$
	100 пФ	$\pm 0.11 \%$	$\leq 6 \text{ мкСм}$	$\pm 66 \text{ нСм}$
	1 нФ	$\pm 0.10 \%$	$\leq 63 \text{ мкСм}$	$\pm 619 \text{ нСм}$
	10 нФ	$\pm 0.10 \%$	$\leq 628 \text{ мкСм}$	$\pm 7 \text{ мкСм}$
10 кГц	100 пФ	$\pm 0.18 \%$	$\leq 628 \text{ нСм}$	$\pm 11 \text{ нСм}$
	1 нФ	$\pm 0.11 \%$	$\leq 6 \text{ мкСм}$	$\pm 66 \text{ нСм}$
	10 нФ	$\pm 0.10 \%$	$\leq 63 \text{ мкСм}$	$\pm 619 \text{ нСм}$
	100 нФ	$\pm 0.10 \%$	$\leq 628 \text{ мкСм}$	$\pm 7 \text{ мкСм}$
1 кГц	100 пФ	$\pm 0.92 \%$	$\leq 63 \text{ нСм}$	$\pm 6 \text{ нСм}$
	1 нФ	$\pm 0.18 \%$	$\leq 628 \text{ нСм}$	$\pm 11 \text{ нСм}$
	10 нФ	$\pm 0.11 \%$	$\leq 6 \text{ мкСм}$	$\pm 66 \text{ нСм}$
	100 нФ	$\pm 0.10 \%$	$\leq 63 \text{ мкСм}$	$\pm 619 \text{ нСм}$

1. Погрешность измерения емкости и проводимости указана для следующих условий:

$D_x = 0,1$

Время интегрирования: 1 период питающей сети

Уровень тестового сигнала: 30 мВ<sub>скз</sub>

Порт 4-клеммной пары модуля MFCMU

## Технические характеристики модуля коммутации и измерения аattoамперных токов (ASU)

### Технические характеристики вспомогательного тракта (AUX)

Максимальное напряжение:

- 100 В (вход AUX – общий вывод AUX)
- 100 В (вход AUX – общий вывод схемы)
- 42 В (общий AUX – общий вывод схемы)

Максимальный ток:

- 0,5 А (вход AUX – вывод источника)

### Дополнительные характеристики ASU

Ширина полосы пропускания (при -3 дБ)

- 30 МГц (порт AUX)

## Технические характеристики устройства объединения (SCUU), модуля источника/измерителя (SMU), модуля измерения емкости (CMU) и устройства безопасного переключения (GSWU)

Устройство SCUU позволяет объединить выходы двух SMU (модулей MPSMU и/или HRSMU) и CMU. Выводы SCUU – это два набора триаксиальных портов схемы Кельвина (Источник и Измеритель). SCUU также позволяет блокам SMU действовать совместно с CMU в качестве источников смещения постоянного тока. Для подключения SMU и CMU к устройству SCUU используются специальные кабели, а функция автоматического определения компенсирует длину кабеля, подключенного к SCUU.

Устройство безопасного переключения (GSWU) оснащено реле, которое автоматически размыкается для измерения ВАХ и замыкается при измерении ВФХ, образуя возвратный защитный тракт, повышающий точность при измерении ВФХ.

### Поддерживаемые SMU

MPSMU и HRSMU

### Для SCUU

Входы:

- Триаксиальные порты: Источник 1, Измеритель 1, Источник 2, Измеритель 2
- Порты BNC: для MFCMU
- Порт управления: для GSWU

Выходы:

- Триаксиальные порты: Источник 1 / CMUH, Измеритель 1, Источник 2 / CMUL и Измеритель 2

Порт управления: для GSWU

Светодиодные индикаторы: индикатор состояния выхода SMU/CMU

Режим присоединения:

- Прямое и опосредованное подключение

### Для GSWU

Вход:

Порт управления: для SCUU

Порты для миниатюрных штекерных разъемов: Guard1, Guard2

Выход:

Светодиодные индикаторы: индикатор состояния подключения

### Дополнительные характеристики SCUU, тракт SMU

Ток смещения: < 20 фА

Напряжение смещения: < 100 мкВ в течение 300 с

Остаточное сопротивление замкнутого канала < 200 мОм

Сопротивление изоляции канала: > 10<sup>15</sup> Ом

### Тракт CMU

#### Тестовый сигнал

Дополнительные погрешности уровня выходного сигнала (смещение CMU, цепь нагрузки разомкнута):

±2 % (прямое подключение)

±7 % (опосредованное подключение)

Дополнительные погрешности уровня выходного сигнала (смещение CMU, цепь нагрузки разомкнута):

±5 % (прямое подключение, ≥ 10 кГц)

±10 % (опосредованное подключение, ≥ 10 кГц)

Полное выходное сопротивление: 50 Ом, стандартно

Дополнительные погрешности при мониторинге уровня сигнала (цепь нагрузки разомкнута):

±2 % (смещение CMU), прямое подключение

±5 % (смещение CMU), прямое подключение

±7 % (смещение CMU), опосредованное подключение

±10 % (смещение CMU), опосредованное подключение

### Функция смещения по постоянному току

Напряжение смещения по постоянному току (смещение CMU):

Диапазон: от 0 до ±25 В

Разрешение: 1 мВ

Дополнительные погрешности (для смещения CMU): ±100 мкВ (цепь нагрузки разомкнута)

Напряжение смещения по постоянному току (смещение SMU):

Диапазон: от 0 до ±100 В

Разрешение: 5 мВ

Дополнительные погрешности (для точности выходного сопротивления SMU): ±100 мкВ (цепь нагрузки разомкнута)

Дополнительные погрешности монитора смещения по постоянному току (цепь нагрузки разомкнута):

±20 мВ, прямое подключение

±30 мВ, опосредованное подключение

Полное выходное сопротивление:

50 Ом, стандартно

Активное сопротивление выхода постоянного тока:

50 Ом (смещение CMU), 130 Ом (смещение SMU)

## Точность измерений

Погрешность измерения импеданса задается путем прибавления следующих дополнительных погрешностей  $E_e$  к погрешности измерения MFCMU:

$$E_e = \pm (A + Z_s/|Z_x| + Y_0|Z_x|) \times 100 \text{ \%}$$

$Z_x$ : измеренное значение импеданса (Ом)

$A$ : 0,05 % (прямое подключение) или 0,1 % (опосредованное подключение)

$Z_s$ : 500 + 500 ×  $f$  (мОм)

$Y_0$ : 1 + 1000 ×  $f/100$  (нСм) (прямое подключение, ×2 при опосредованном подключении)

Примечание:  $f$  – частота в МГц

Если для удлинения измерительных выводов использован измерительный кабель, к данным измерениям необходимо применять погрешность измерения после коррекции для разомкнутой/короткозамкнутой/нагруженной цепи, выполненной для окончания кабеля, которое соответствует стороне испытываемого устройства.

Примечание: Погрешность указана для следующих условий:

Температура: +23 °C ± 5 °C

Время интегрирования: 1 PLC или 16 PLC (периодов сети питания)

## Технические характеристики модуля высоковольтного полупроводникового импульсного генератора (HV-SPGU)

### Технические характеристики

Количество выходных каналов:

2 канала на модуль

Режимы: импульсный, постоянный, холостой

Стандартный импульсный режим:

- Двухуровневый импульс
- Трехуровневый импульс в одном канале
- Период импульса: от 30 нс до 10 с

Диапазон задержки: от 0 до 9,99 с

Разрешение задержки: 2,5 нс (минимум)

Счетчик выхода: от 1 до 1 000 000

Минимальная периодичность замеров монитора напряжения:

5 мкс

Выход пускового импульса:

Уровень: TTL

Временная привязка: синхронизирован с периодом импульса

Длительность пускового импульса:

Период импульса × 1/2 (если период импульса ≤ 10 мкс)

Максимум 5 мкс (если период импульса > 10 мкс)

## Дополнительные характеристики полупроводникового импульсного генератора (SPGU)

Джиттер длительности импульса: 0,001 % + 150 пс

Джиттер периода импульса: 0,001 % + 150 пс

Максимальная скорость нарастания:

1000 В/мкс (при нагрузке 50 Ом)

Шум: 10 мВ<sub>скз</sub> (на выходе постоянного тока)

Расширенные функции:

Монитор напряжения: Модуль HV-SPGU оснащен функцией контроля напряжения, которая обеспечивает измерение напряжения на клеммах испытываемого устройства.

Точность измерения (цепь нагрузки разомкнута):  
±(0,1 % показания + 25 мВ)

Разрешение измерений: 50 мкВ

Примечание: Указано для 1 периода питающей сети (20 мс = (5 мкс замер + 5 мкс интервал) × 2000 замеров)

Компенсация напряжения: модуль HV-SPGU способен измерять полное сопротивление испытываемого устройства и регулировать выходное напряжение с учетом импеданса испытываемого устройства.

## Функция линейного генератора напряжения произвольной формы (ALWG)

Режим линейного генератора напряжения произвольной формы (ALWG):

- Выходной сигнал сложной формы в одном канале HV-SPGU
- Задает многоуровневый импульс и многоимпульсный сигнал, включая импульс разомкнутого состояния при помощи редактора графического интерфейса пользователя ALWG
- Последовательный импульсный сигнал, полученный из пользовательского импульсного сигнала
- 1024 точек на один канал
- Диапазон программируемой синхронизации: от 10 нс до 671,088630 мс, при разрешении 10 нс

## Напряжение и точность импульса/выхода постоянного тока

Выходное напряжение ( $V_{\text{вых}}$ )	Нагрузка 50 Ом	от -20 до +20 В
	Цель нагрузки разомкнута	от -40 до +40 В
Точность <sup>1</sup>	Цель нагрузки разомкнута	$\pm(0.5\% + 50 \text{ мВ})$
Разрешение амплитуды	Нагрузка 50 Ом	0,2 мВ (диапазон $\pm 10 \text{ В}$ ) 0,8 мВ (диапазон $\pm 40 \text{ В}$ )
	Цель нагрузки разомкнута	0,4 мВ (диапазон $\pm 10 \text{ В}$ ) 1,6 мВ (диапазон $\pm 40 \text{ В}$ )
Выходные разъемы		SMA
Импеданс источника		50 Ом <sup>2</sup>
Ток К3		пик 800 мА (среднее 400 мА <sup>3</sup> )
Перерегулирование / отрицательный выброс / звон <sup>4</sup>	Нагрузка 50 Ом	$\pm(5\% + 20 \text{ мВ})$
Ограничение выхода		Контроль предела перегрузки по току

1. Через 1 мкс после завершения перехода.

2. Стандартно ( $\pm 1\%$ ).3. Это значение указано для следующих условий: [(Количество установленных модулей HV-SPGU)  $\times 0,2 \text{ А}$ ] + [ток выходов постоянного тока от всех модулей (включая HV-SPGU)]  $< 3,0 \text{ А}$ .

4. При указанных условиях с учетом времени перехода.

## Диапазон импульсов и параметры импульса<sup>1</sup>

Диапазон частоты		от 0,1 Гц до 33 МГц
Период импульса	Программируемый диапазон	30 нс до 10 с
	Разрешение	10 нс
	Минимум	100 нс <sup>3</sup>
	Погрешность	$\pm 1\% (\pm 0.01\% ^2)$
Длительность	Программируемый диапазон	от 10 нс до (период - 10 нс)
	Разрешение	2,5 нс ( $T_r$ и $T_f \le 8 \text{ мкс}$ ) 10 нс ( $T_r$ или $T_f > 8 \text{ мкс}$ )
	Минимум	50 нс (25 нс стандартно) <sup>3</sup>
	Погрешность	$\pm(3\% + 2 \text{ нс})$
Время перехода <sup>5</sup> ( $T_r$ и $T_f$ )	Программируемый диапазон	от 8 нс до 400 мс
	Разрешение	2 нс ( $T_r$ и $T_f \le 8 \text{ мкс}$ ) 8 нс ( $T_r$ или $T_f > 8 \text{ мкс}$ )
	Минимум (стандартно)	< 15 нс <sup>3</sup>
	Минимум	20 нс ( $V_{\text{ампл}} \le 10 \text{ В}$ ) 30 нс ( $V_{\text{ампл}} \le 20 \text{ В}$ ) 60 нс ( $V_{\text{ампл}} > 20 \text{ В}$ )
	Погрешность	от -5 до 5% + 10 нс ( $V_{\text{ампл}} \le 10 \text{ В}$ ) от -5 до 5% + 20 нс ( $V_{\text{ампл}} \le 20 \text{ В}$ )
Время переключения выходного реле <sup>4</sup>	Размыкание/Замыкание	< 100 мкс

1. Если не указано иное, все технические характеристики подразумевают терминирование 50 Ом.

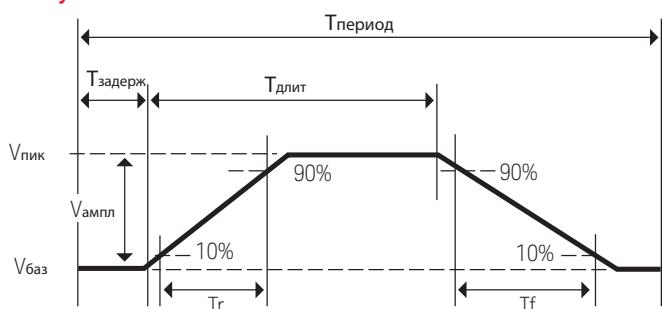
2. Стандартный минимум. Является дополнительной характеристикой.

3. Указано при  $V_{\text{ампл}} \le 10 \text{ В}$ .

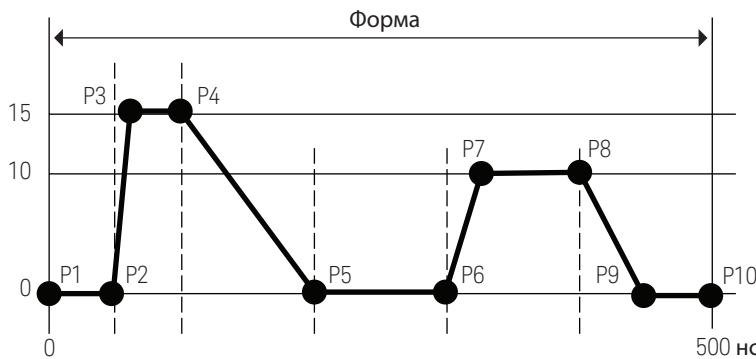
4. Время, занимаемое переходом из разомкнутого состояния реле в замкнутое состояние.

5. Время перехода от 10 до 90% величины  $V_{\text{усил}}$ , которая представляет собой амплитуду выходного импульса.

## Импульсный сигнал

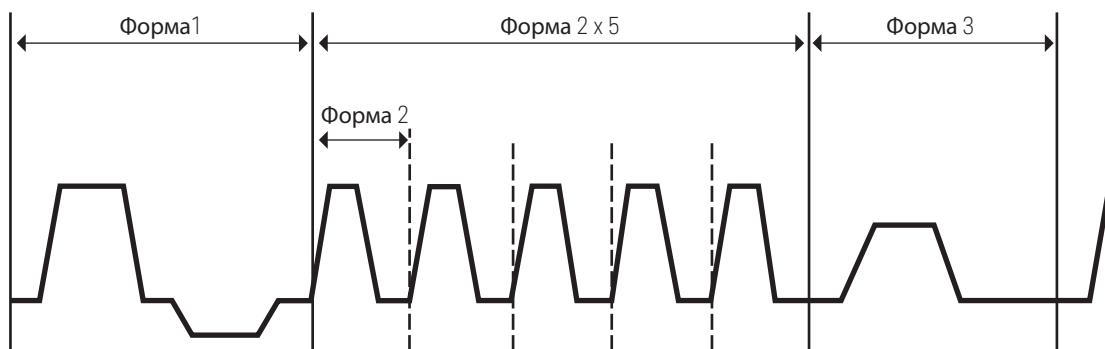


## Пример 1. Таблица настройки линейного генератора напряжения произвольной формы (ALWG) и форма сигнала



Точка	Время	Напряжение
1	0	0.0 В
2	50 нс	0.0 В
3	70 нс	15.0 В
4	100 нс	15.0 В
5	200 нс	0.0 В
6	300 нс	0.0 В
7	320 нс	10.0 В
8	400 нс	10.0 В
9	450 нс	0.0 В
10	500 нс	0.0 В

## Пример 2. Сложный сигнал ALWG



## 16440A Селектор SMU / импульсный генератор

Селектор SMU / импульсный генератор Keysight 16440A обеспечивает коммутацию модулей SMU или PGU с соответствующим выходным портом. Установив дополнительный модуль 16440A, можно увеличить количество каналов до четырех. Порт PGU на канале 1 обеспечивает выполнение функции PGU OPEN, которая позволяет отключать модуль PGU путем размыкания полупроводникового реле. Селектор 16440A можно использовать вместе с устройствами Keysight B1500A и 16445A.

Следующие технические данные определены при таких условиях: температура  $+23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность  $50\%$ .

- Конфигурация каналов:  
2 канала (CH 1 и CH 2).

При использовании еще одного селектора 16440A можно обеспечить два дополнительных канала (CH 3 и CH 4).

Вход	Выход
Канал 1 (CH 1)	2 (SMU и PGU <sup>1</sup> )
Канал 2 (CH 2)	2 (SMU и PGU)
Канал 3 (CH 3) <sup>2</sup>	2 (SMU и PGU <sup>1</sup> )
Канал 4 (CH 4) <sup>2</sup>	2 (SMU и PGU)

1. Каналы 1 и 3 PGU имеют встроенное полупроводниковое реле с последовательным подключением.
2. Доступны, если установлен второй модуль 16440A (расширитель селектора).

### – Диапазон напряжения и тока

Входной порт	Максимальное напряжение	Максимальный ток
SMU	200 В	1.0 А
PGU	40 В	0.4 А <sup>1</sup>

1. Величина между пиками.

## Переходник для селектора SMU / импульсного генератора (PGU) 16445A

Переходник селектора Keysight 16445A обеспечивает управление и питание постоянным током селектора SMU / импульсного генератора Keysight 16440A.

Требования к питанию: от 100 до 240 В, 50/60 Гц

Максимальная потребляемая мощность (ВА): 20 ВА

## Технические характеристики WGFMU (модуль генератора сигналов и быстродействующего измерителя)

### Общие сведения

Модуль генератора сигналов и быстродействующего измерителя (WGFMU) представляет собой автономный блок, объединяющий функции линейного генератора напряжения произвольной формы (ALWG) и синхронизированного высокоскоростного измерителя тока или напряжения. Функция ALWG позволяет генерировать сигналы не только постоянного тока, но и переменного. В дополнение к этой универсальной способности модуль WGFMU может осуществлять измерения, синхронизированные с применяемыми сигналами, что позволяет снимать высокоскоростные ВАХ.

### Режим измерений, функциональность и диапазон

Режим	Функция			Диапазоны	Диапазоны	Диапазоны	Импеданс	Максимальный
WGFMU	WGFMU			напряжения	измерения	измерения тока	источника	выходной сигнал
	VF	VM	IM	источника	измерения	напряжения		
Режим быстрого ВАХ/	Да	Да	Да	от -3 В до +3 В от -5 В до +5 В	5 В 10 В	1 мкА, 10 мкА, 100 мкА, 1 мА, 10 мА	0 Ом <sup>1</sup>	+10 В, -10 В, ±5 В
Режим постоянного тока				от -10 В до 0 В от 0 В до +10 В				
Режим импульсного генератора	Да	Да	-	от -3 В до +3 В от -5 В до +5 В	5 В	-	50 Ом <sup>2</sup>	±5 В (цепь нагрузки разомкнута) ±2,5 В (нагрузка 50 Ом)
	Измерение выполняется модулем SMU			-	-	-	-	±25 В ±100 мА
Проходной модуль SMU								

VF: Напряжение источника; VM: Измерение напряжения IM: Измерение тока

1. В режиме быстрой ВАХ поддерживается контур активной аналоговой обратной связи, обеспечивающий требуемую величину выходного напряжения и позволяющий пренебречь импедансом выхода. Этот контур позволяет снизить влияние эффекта линии нагрузки, обусловленного импедансом источника и тестируемого устройства.
2. 50 Ом (номинальное значение) в режиме импульсного генератора постоянного тока.

## Технические характеристики WGFMU (модуль генератора сигналов и быстродействующего измерителя) – продолжение

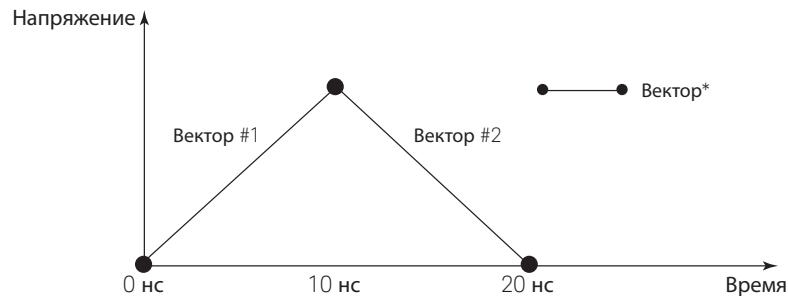
### Возможности для формирования сигнала и измерений

При помощи векторных данных линейный генератор напряжения произвольной формы (ALWG) формирует импульсы и сигналы любой формы. Измерения могут выполняться посредством событий измерения, встроенных в векторы.

<b>Выходной сигнал напряжения</b>	<b>Программирование сигнала</b>	Минимальное временное разрешение	10 нс
	С помощью векторных данных ALWG в пределах макс. количества векторов можно задать сигнал любой формы (включая форму импульсов).	Длина вектора	от 10 нс до 10 000 с при разрешении/векторе 10 нс
		Макс. количество векторов	2048
		Макс. количество последовательностей	512
		Макс. значение счетчиков	от 1 до $10^{12}$
<b>Измерительные возможности</b>	<b>Измерение (событие)</b>	Скорость выборки	200 Мвыб./с
	Сигнал можно измерять в любой указанной точке / момент времени при помощи функции события измерения. Этим обеспечивается гибкость при измерениях только на указанном участке, благодаря чему уменьшается объем данных и повышается эффективность использования памяти. Событие измерения может встраиваться в любой вектор сигнала ALWG с определением количества точек измерения, интервала между точками и параметра усреднения.	Макс. количество точек измерения	Около 4 млн точек данных на канал (стандартно)
		Интервал между точками измерения	от 5 нс или 10 нс до 1 с при разрешении 10 нс
		Усреднение для точки измерения	от 10 нс до 20 мс при разрешении 10 нс
	<b>Изменение диапазона (Событие)</b>		
<b>Пусковые возможности</b>	Диапазон измерения тока можно изменить в любой указанной точке / момент времени сигнала при помощи события изменения диапазона. Данная функция позволяет использовать в последовательности измерений заданный диапазон, соответствующий импедансу устройства.		
	<b>Выходной сигнал запуска (Событие)</b>		
	Выходной сигнал запуска можно задать в любой указанной точке / момент времени сигнала при помощи события выходного сигнала запуска.		

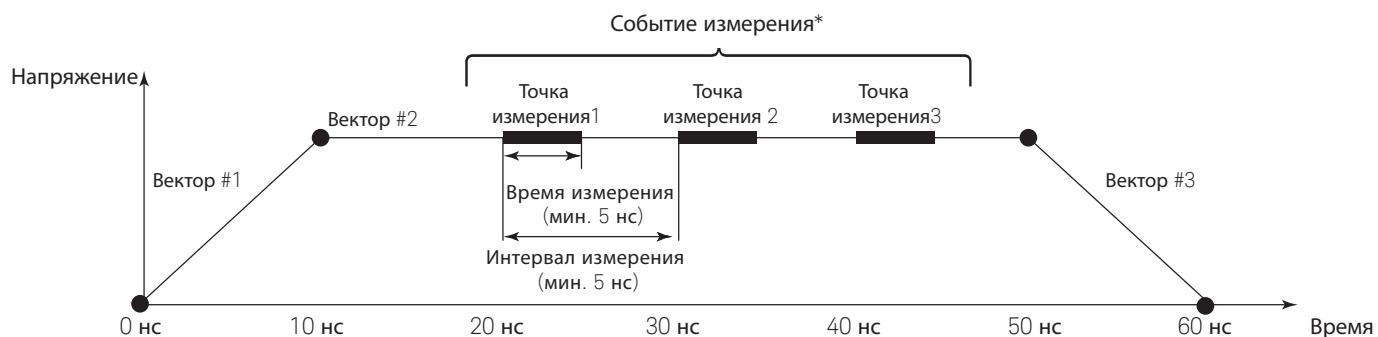
## Технические характеристики WGFMU (модуль генератора сигналов и быстродействующего измерителя) – продолжение

### Пример 1. Создание сигнала при помощи векторных данных



(\*) Данный сигнал создан путем определения нескольких векторов (времени, напряжения). Каждый вектор можно задать в пределах длины вектора и величины напряжения.

### Пример 2. Событие измерения в созданном сигнале



(\*) Аналогично событию измерения в векторе можно задать событие изменения диапазона и сигнала запуска.

Для точного измерения необходимо учитывать время стабилизации напряжения/тока с точки зрения надлежащей работы аналогового устройства. Рабочие характеристики аналоговой части прибора см. в таблице "Минимальные параметры временной привязки", которые приведены в качестве дополнительных характеристик.

## Технические характеристики WGFMU (модуль генератора сигналов и быстродействующего измерителя) – продолжение

### Источник, параметры измерений и временной привязки

<b>Напряжение источника</b>	Точность	$\pm (0,1\% \text{ уставки} + 0,1\% \text{ диапазона})^1$
	Разрешение <sup>2</sup>	96 мкВ (в диапазоне от -3 до 3 В) 160 мкВ (во всех остальных диапазонах)
	Положительный/ Отрицательный выброс сигнала	$\pm(5\% + 20 \text{ мВ})^3$
	Шум	макс. 0,1 мВ <sub>СКЗ</sub> <sup>4</sup>
<b>Измерение напряжения</b>	Точность	$\pm(0,1\% \text{ показания} \pm 0,1\% \text{ диапазона})^8$
	Разрешение <sup>9</sup>	680 мкВ (в диапазоне от -5 до 5 В) 1,4 мВ (в диапазоне от -10 до 10 В)
	Шум <sup>10</sup>	макс. 4 мВ <sub>СКЗ</sub> (диапазон от -5 до +5 В)
<b>Измерение тока</b>	Точность	$\pm(0,1\% \text{ показания} \pm 0,2\% \text{ диапазона})^8$
	Разрешение <sup>9</sup>	0,014 % диапазона
	Шум (эф. разрешение)	макс. 0,2 % диапазона <sup>11</sup>
<b>Точность временной привязки</b>	Время нарастания $T_{\text{rise}}$ (от 10 до 90 %) / Время спада $T_{\text{fall}}$ (от 90 до 10 %)	от -5 % до (+5 % +10 нс) уставки <sup>5</sup>
	Период импульса	$\pm 1\% \text{ уставки}^6$
	Длительность импульса	$\pm(3\% + 2 \text{ нс})^7$

- Независимо от диапазона или режима. На выход подается постоянное напряжение. Импеданс нагрузки  $\geq 1 \text{ МОм}$  (диапазон 1 мкА) или  $\geq 200 \text{ кОм}$  (все прочие диапазоны тока) для режима быстрой ВАХ или  $\geq 1 \text{ МОм}$  для режима импульсного генератора (PG).
- Может колебаться в пределах максимум 5 % исходя из результатов калибровки.
- Режим импульсного генератора, нагрузка 50 Ом,  $T_{\text{rise}}$  и  $T_{\text{fall}} > 16 \text{ нс}$  с кабелем длиной 1,5 м,  $> 32 \text{ нс}$  с кабелем длиной 3 м или  $> 56 \text{ нс}$  с кабелем длиной 5 м.
- Теоретическое значение наблюдаемого времени составляет от 100 нс до 1 мс, дополнительная характеристика.
- Режим импульсного генератора, нагрузка 50 Ом,  $T_{\text{rise}}$  и  $T_{\text{fall}} \geq 24 \text{ нс}$ .
- Режим импульсного генератора, нагрузка 50 Ом, период импульса  $\geq 100 \text{ нс}$ .
- Режим импульсного генератора, нагрузка 50 Ом, длительность импульса  $\geq 50 \text{ нс}$ .
- Независимо от диапазона или режима. На выход подается постоянное напряжение. Применимое условие: 10 000 замеров усреднения для диапазона 10 мкА и выше; 100 000 замеров усреднения для диапазона 1 мкА.
- Разрешение дисплея. Может колебаться в пределах максимум 5 % исходя из результатов калибровки.
- Выходной сигнал 0 В, цепь нагрузки разомкнута, усреднения нет. Максимум 1,5 мВ<sub>СКЗ</sub> как дополнительная характеристика.
- Действующее значение при выходном напряжении 0 В, цепь нагрузки разомкнута, усреднения нет. Дополнительные характеристики.

### Прочие технические характеристики

Количество выходных каналов: 2 канала на модуль

### Модуль измерения и коммутации (RSU):

Выходной разъем: SMA

Вывод контроля напряжения:

- Разъем: BNC
- Импеданс источника: 50 Ом (номинал) при постоянном токе
- На вывод подается буферизованный сигнал, равный 1/10  $V_{\text{вых}}$  (при нагрузке 50 Ом)

Тракт RSU SMU:

- Ток утечки: <100 пА (дополнительная характеристика)
- Остаточное сопротивление: <300 мОм (дополнительная характеристика)

## Длина кабеля, соединяющего WGFMU и RSU:

Модули WGFMU и RSU соединяются при помощи специального композитного кабеля. Пользователям доступны следующие конфигурации:

- 3 м
- 5 м
- 1.5 м
- 2.4 м + переходник + 0,6 м
- 4.4 м + переходник + 0,6 м

Примечание: Переходник используется в тех случаях, когда выполняется прокладка кабеля через панель разъемов зондовой станции.

## Выход сигнала запуска

Уровень: TTL

Длительность запускающего импульса: 10 нс

Смещение запускающего импульса: < 3 нс (дополнительная характеристика)

## Джиттер:

< 1 нс (дополнительная характеристика)

## Смещение между каналами:

< 3 нс, при отсутствии электростатического заряда (дополнительная характеристика)

## Время переключения диапазона тока:

< 150 мкс\*

\* Время, в течение которого измеряемый ток устанавливается в пределах  $\pm 0,3\%$  от окончательного результата после изменения диапазона (дополнительная характеристика)

## Минимальные параметры временной привязки для измерений тока (дополнительная характеристика)<sup>1</sup>

Напряжение, приложенное к ИУ		10 В					
Ток, приложенный к ИУ		100 нА	1 мкА	10 мкА	100 мкА	1 мА	10 мА
Измерение тока	Приложенное напряжение	Рекомендованная минимальная длительность импульса <sup>2</sup>	47 мкс	38,7 мкс	6,8 мкс	950 нс	240 нс
	Диапазон измерений	1 мкА	1 мкА	10 мкА	100 мкА	1 мА	10 мА
	Рекомендованный минимум окна измерения	10 мкс	1,64 мкс	1 мкс	130 нс	40 нс	20 нс
	Время регулирования <sup>3</sup>	37 мкс	37 мкс	5,8 мкс	820 нс	200 нс	125 нс
	Шум (СК3) <sup>4</sup>	160 пА	425 пА	2,5 нА	47 нА	280 нА	1,9 мкА

- Условия измерений: Испытываемое устройство представляет собой резистивную нагрузку для регулирования протекающего тока до значения, указанного в таблице выше. Емкость кабеля, соединяющего RSU и испытываемое устройство, составляет 20 пФ. Напряжение подается к ИУ по каналу WGFMU/RSU в режиме Fast IV и диапазона тока 10 мА, при этом ток измеряется по другому каналу при напряжении 0 В и режиме Fast IV.
- Рекомендованный минимум длительности импульса = время регулирования + рекомендованный минимум измерительного окна.
- Время, в течение которого измеряемая величина устанавливается в пределах  $\pm 0,6\%$  от окончательного результата после изменения выходного напряжения от исходного значения (0 В). Для минимизации перерегулирования рекомендуется минимальное время нарастания/спада импульса 70 нс.
- СК3 уровень шума измеряется в течение рекомендованного минимального окна измерения.

## Минимальные параметры временной привязки для измерений напряжения (дополнительная характеристика)<sup>1</sup>

Напряжение, приложенное к ИУ	5 В	10 В
Приложенное напряжение	Рекомендованная минимальная длительность импульса <sup>2</sup>	105 нс 130 нс
Условия измерения напряжения	Диапазон измерений	5 В 10 В
	Рекомендованный минимум окна измерения	20 нс 20 нс
	Время регулирования <sup>3</sup>	85 нс 110 нс
	Шум (СКЗ) <sup>4</sup>	1.4 мВ 1.4 мВ

- Условия измерений: Испытываемое устройство представляет собой резистивную нагрузку с сопротивлением в пределах между 1 кОм и 10 МОм. Емкость кабеля, соединяющего RSU и испытываемое устройство, составляет 20 пФ. Напряжение подается к ИУ по каналу WGFMU/RSU, а напряжение измеряется по этому же каналу (режим PG для диапазона 5 В, режим Fast IV для диапазона 10 В).
- Рекомендованный минимум длительности импульса = время регулирования + рекомендованный минимум измерительного окна.
- Время, в течение которого измеряемая величина устанавливается в пределах  $\pm 0,6\%$  от окончательного результата после изменения выходного напряжения от исходного значения (0 В). Для минимизации перерегулирования рекомендуется минимальное время нарастания спада импульса 70 нс для 10 В или 30 нс для напряжения 5 В.
- СКЗ уровень шума измеряется в течение рекомендованного минимального окна измерения.

## Программное обеспечение WGFMU

### Интерфейс программирования приложений (API):

Библиотека инструментальных средств (.DLL/.Lib для.NET)

Примечание: Библиотека инструментальных средств доступна для следующих сред программирования.

Microsoft Visual C++.NET, Visual C#.NET, Visual Basic.NET, Visual Basic 6.0, VBA или TransEra HTBasic для Windows (версия 8.3 и выше)

## Прикладные тесты

- Температурная нестабильность порогового напряжения (NBTI/PBTI)
- Измерение со свипированием/Импульсное измерение со свипированием (с использованием 2 каналов модуля WGFMU в режиме быстрой ВАХ)
- Универсальный редактор форм

## Образец прикладных программ

Для внешнего компьютера с ОС Windows доступны следующие прикладные программы. Исходный код доступен для пользовательской модификации.

- Температурная нестабильность порогового напряжения (NBTI/PBTI)
- Измерение быстрой ВАХ со свипированием
- Измерение импульсной ВАХ
- Измерение тока/напряжения переходных процессов
- Средство анализа данных выборочных измерений и измерений произвольного телеграфного шума

## Поставщики зондовых станций, поддерживаемых WGFMU

- Cascade Microtech (включая Suss MicroTec)
- Vector Semiconductor

## Общие технические условия

### Диапазон температур

Эксплуатация: от +5 до +40 °C  
Хранение: от -20 до +60 °C

### Влажность

Эксплуатация: относительная влажность от 20 до 70 %, без конденсации  
Хранение: относительная влажность от 10 до 90 %, без конденсации

### Высота над уровнем моря

Эксплуатация: от 0 до 2 000 м (6 561 фут)  
Хранение: от 0 до 4 600 м (15 092 фут)

### Требования по питанию

Напряжение сети переменного тока: 100-240 В (±10 %)  
Частота: 50/60 Гц

### Максимальная мощность (ВА)

B1500A: 900 ВА

### Соблюдение требований регламентов

Электромагнитная совместимость:  
IEC61326-1/EN613 26-1  
AS/NZSCISPR 11  
KC: RRA Уведомление, дополняющее статью 58-2  
Закона о радиочастотных излучениях  
Безопасность:  
IEC61010-1/EN61 010-1  
CAN/CSA-C 2:2.2 №. 61010-1-04, C/US

### Сертификация

CE, cCSAus, C-Tick, KC

## Размеры

B1 500A: 420 мм (Ш) x 330 мм (В) x 575 мм (Г)  
N1301A-100 устройство объединения модулей SMU HCMU (SCUU):  
148 мм (Ш) x 75 мм (В) x 70 мм (Г)  
N1301A-200 устройство безопасного переключения (GSWU):  
33,2 мм (Ш) x 41,5 мм (В) x 32,8 мм (Г)  
E5283Д Модуль коммутации и измерения аттоамперных токов (ASU):  
132 мм (Ш) x 88,5 мм (В) x 50 мм (Г)  
B1 531A Модуль дистанционных измерений и коммутации (RSU):  
45,2 мм (Ш) x 70 мм (В) x 82 мм (Г)  
N1255A 2-канальная соединительная коробка для MCSMU:  
184,4 мм (Ш) x 61,6 мм (В) x 169,6 мм <Г>  
16440A Селектор SMU/PGU: 250 мм (Ш) x 50 мм (В) x 275 мм (Г)  
16445A Переходник селектора: 250 мм (Ш) x 50 мм (В) x 260 мм (Г)

### Вес

B1500A базовый блок: 20 кг  
B151DA HPSMU: 2,0 кг  
B1511B MPSMU: 1,0 кг  
B1514A MCSMU: 1,3 кг  
B1517A HRSMU: 1,2 кг  
B152QA MFCMU: 1,5 кг  
B1525A HV-SPGU: 1,3 кг  
B1530A WGFMU: 1,3 кг  
B1531A RSU: 0,13 кг  
E5288A ASU: 0,5 кг  
N1301A-100 SCUU: 0,8 кг  
N1301A-200 GSWU: 0,1 кг  
N1255A 2-канальная соединительная коробка для MCSMU: 0,7 кг  
16440A Селектор SMU/PGU: 1,1 кг  
16445A Переходник селектора: 1,0 кг

## Программное обеспечение Keysight EasyEXPERT group+

Разработанное компанией Keysight программное обеспечение EasyEXPERT group+ с графическим интерфейсом пользователя, может работать как на анализаторе B1500A операционной системы Windows 7 с 15-дюймовым сенсорным дисплеем, так и на персональном компьютере, что позволяет ускорить определение характеристик приборов. Данное ПО обеспечивает высокую производительность и воспроизводимость результатов в ходе всего процесса параметризации устройств – от наладки и выполнения измерений до анализа и управления данными, при этом измерения могут осуществляться как в ручном интерактивном режиме, так и в режиме автоматического тестирования полупроводниковых пластин с использованием полуавтоматической зондовой станции.

Использование программы EasyEXPERT group+ упрощает сложный процесс определения характеристик устройств за счет сотен готовых измерений (прикладных тестов), а также после каждого измерения обеспечивает автоматическое сохранение условий испытания и полученных данных в уникальной встроенной базе данных (рабочем пространстве). Благодаря этому исключен риск утраты ценной информации, а измерения могут выполняться повторно по прошествии некоторого времени.

Наконец, в программу EasyEXPERT встроены функции анализа и графическая среда программирования, которые облегчают разработку сложных алгоритмов тестирования.

### Основные особенности

- Разнообразные режимы измерения, обеспечивающие быструю настройку и измерения (прикладной тест, классический тест, режим характеристографа, быстрый тест и режим осциллографа)
- Графический дисплей, функции автоматизированного анализа, экспорт данных в Excel и представление в графическом виде для анализа и отчетности
- Автоматическое сохранение данных тестирования во встроенной базе данных (в рабочем пространстве), упрощенное управление данными без необходимости создания многочисленных файлов
- Управление матричными коммутаторами Keysight B2200A, B2201A и E5250A при помощи средств графического интерфейса
- Реализованные в графическом интерфейсе меню самотестирования, самокалибровки и диагностики оборудования
- Функция дистанционного управления ПО EasyEXPERT поддерживает дистанционные измерения в прикладных тестах, которые можно создавать в интерактивном режиме интерфейса, при помощи LAN
- Имеются функции резервирования и восстановления данных, а также различные функции защиты данных, обеспечивающие их совместное использование несколькими пользователями
- Доступ к среде параметризации можно получить от базового блока (со встроенной ОС Windows 7) и от персонального компьютера, на котором будет создана отдельная и независимая среда анализатора. Программное обеспечение EasyEXPERT group+ можно установить на требуемое количество компьютеров без дополнительных расходов.

### Прикладная библиотека

В состав программы EasyEXPERT включено более 300 прикладных программ испытаний, удобно организованных по типам устройств, областям применения и используемым технологиям. Можно редактировать и адаптировать стандартные испытания так, чтобы они оптимально соответствовали его потребностям. Прикладные тесты разделены на категории, при этом их состав можно менять без предварительного уведомления.

Тип устройства	Прикладные испытания
КМОП-транзистор	Id-Vg, Id-Vd, пороговое напряжение (Vth), напряжение пробоя, емкость, квазистатическая ВФХ и др.
Биполярный транзистор	IIc-Vc, диод, кривая Гуммеля, напряжение пробоя, коэффициент усиления (hfe), емкость и др.
Дискретные устройства	Id-Vg, Id-Vd, Ic-Vc, диод и др.
Память	Пороговое напряжение (Vth), емкость, ресурсные испытания и др.
Устройства питания	Импульсные характеристики Id-Vg и Id-Vd, напряжение пробоя и др.
Нанотехнологические устройства	Сопротивление, характеристики Id-Vg, Id-Vd, Ic-Vc. и др.
Испытания на надежность	Измерения температурной нестабильности порогового напряжения при отрицательном/положительном смещении (NBTI/PBTI), накачка заряда, электромиграция, ввод горячих носителей, заряд пробоя, времязависимый пробой диэлектрика и др.
И прочее	И прочее

## Режимы и функции измерения

### Режимы эксплуатации

#### Режим прикладного тестирования

Данный режим обеспечивает настройку и выполнение предметно-ориентированного тестирования при помощи мыши. Требуемый тест выбирается из библиотеки по типу прибора и измерения, затем можно изменить имеющиеся параметры по умолчанию, после чего осуществляется тестирование.

#### Режим классического тестирования

Данный режим обеспечивает настройку и выполнение функционально-ориентированного испытания, в котором внешний вид, восприятие и терминология интерфейса соответствуют параметрическим анализатором Keysight 4155/4156. Дополнительно можно использовать все преимущества графического интерфейса программы EasyEXPERT.

#### Режим харктериографа

Режим харктериографа в ПО EasyEXPERT обеспечивает интуитивно-понятное и интерактивное управление параметрами свипирования с помощью вращающегося регулятора, как в обычном харктериографе. Как и в аналоговом харктериографе, измерения со свипированием можно осуществлять в одном направлении (этот режим удобен при анализе работы приборов на этапе разработки) или в двух (этот режим удобен при испытаниях, цель которых – анализ неполадок в работе прибора). Наборы тестов, созданные в режиме харктериографа, без затруднений и задержек можно передать в режим классического тестирования для дальнейших более подробных измерений и анализа.

#### Режим осциллографа (доступен для модуля MCSMU)

Режим осциллографа (доступен при работе в режиме харктериографа) позволяет отображать зависимость значений напряжения и тока, измеряемых модулем MCSMU, от времени. Форма измеряемого импульсного сигнала отображается в отдельном окне, что упрощает контроль временных характеристик. Эта функция особенно полезна для проверки временных параметров сигнала и корректировки импульсных измерений. Ее использование возможно, когда в режиме харктериографа есть один и более канал модуля MCSMU, используемый в импульсном режиме. Режим осциллографа позволяет отображать временные характеристики импульсного сигнала с любым заданным шагом свипирования.

Интервал между замерами: 2 мкс

Количество замеров: 2 000

Продолжительность замера: от 22 мкс до 24 мс

Функция маркера:

Считывание для каждого канала данных

Разрешение: 2 мкс

Сохранение данных:

Числовые: форматы Text/CSV/XMLSS

Изображения: форматы EMF/BMP/JPG/PNG

#### Режим быстрого тестирования (Quick Test)

Основанный на функциях графического интерфейса, режим Quick Test позволяет создавать тестовые последовательности без программирования. При помощи нескольких щелчков мышью можно выбрать, скопировать, изменить порядок и вырезать/вставить любые прикладные тесты. После выбора и определения порядка выполнения для автоматического запуска последовательности тестов достаточно щелкнуть мышью по кнопке измерения.

## Режимы измерения

Анализатор Keysight B1500A поддерживает следующие режимы измерения:

BAХ:

- точечные измерения
- ступенчатые измерения со свипированием
- импульсные точечные измерения
- импульсные измерения со свипированием
- ступенчатые измерения со свипированием и импульсным смещением
- временная выборка
- многоканальные измерения со свипированием
- многоканальные импульсные измерения со свипированием
- список измерений со свипированием
- линейный поиск<sup>1</sup>
- двоичный поиск<sup>1</sup>

емкости:

- точечные измерения емкости
- измерения ВФХ со свипированием (смещение по постоянному току)
- импульсные точечные измерения емкости
- импульсные измерения ВФХ со свипированием
- временная выборка величины емкости по времени
- измерения со свипированием зависимости емкости от частоты (C-f)
- измерения ВФХ со свипированием (уровень переменного тока)
- измерение квазистатической ВФХ (QSCV)

1. Данные режимы поддерживает только команда FLEX

#### Измерения со свипированием

Количество шагов: от 1 до 10001 (SMU), от 1 до 1001 (CMU)

Режим свипирования: линейный или логарифмический (log)

Направление свипирования: одиночное или двойное свипирование

Время выдержки: от 0 до 655,35 с, разрешение 10 мс

Длительность задержки: от 0 до 65,535 с, разрешение 100 мкс (от 0 до 655,35 с, разрешение 100 мкс; для измерения ВФХ со свипированием (уровень переменного тока) и измерения со свипированием зависимости емкости от частоты (C-f))

Длительность задержки шага: от 0 до 1 с, разрешение 100 мкс

Длительность задержки шага пускового импульса выхода: от 0 до (длительность задержки) с, разрешение 100 мкс

Длительность задержки шага пускового импульса измерения: от 0 до 65,535 с, разрешение 100 мкс

#### Измерения с выборкой по времени (во временной области)

Обеспечивают отображение зависимости величины измеренного напряжения/тока (SMU) от времени.

Количество каналов выборки по времени: до 10

Режим выборки по времени: линейный или логарифмический (log)

Количество точек выборки по времени:

Для линейной выборки по времени:

от 1 до 100 001 / (количество каналов)

Для логарифмической выборки по времени:

от 1 до 1+ (количество данных для 11 декад)

Диапазон интервалов выборки:

от 100 мкс + 20 мкс × (количество каналов – 1) до 2 мс, разрешение:

10 мкс от 2 мс до 65,535 с, разрешение 1 мс

\* Интервал выборки менее 2 мс поддерживается только в линейном режиме.

Время выдержки, время выдержки смещения:

от -90 мс до -100 мкс, разрешение 100 мкс

от 0 до 655,35 с, разрешение 10 мс

Разрешение длительности измерений: 100 мкс

## Прочие характеристики измерений

### Управление измерениями

Измерения могут быть однократными, повторяющимися, добавляемыми. Имеется также режим останова измерений.

### Возможности настройки SMU

Ограниченнная автоматическая установка диапазона, ограничение тока/напряжения и уровня мощности, функции автоматического прерывания свипирования, самотестирование и самокалибровка.

### Режим ожидания (Standby)

Модули SMU в режиме ожидания сохраняют запрограммированные выходные значения, даже если для других модулей выполнен сброс для следующего измерения.

### Функция удержания смещения

Данная функция позволяет сохранять активность источника между измерениями. Модуль источника будет обеспечивать заданное смещение между измерениями при запуске классического теста внутри какого-либо прикладного теста, в режиме быстрого тестирования или при выполнении повторяющихся измерений. Функция прекращает действовать, как только исчезают указанные условия или если запущено измерение, в котором данная функция не используется.

### Отмена смещения тока

Данная функция обеспечивает вычитание тока смещения из исходных данных измерения тока и возвращает полученный результат как данные измерений. Эта функция используется для компенсации фактора погрешности (тока смещения), связанного с измерительным трактом, т. е. с кабелями, манипуляторами или платой зонда.

### Временная метка

Анализатор B1500A поддерживает функцию нанесения временных меток, для чего используются внутренние кварцевые часы.

Разрешение: 100 мкс

## Отображение данных, аналитические и арифметические функции

### Отображение данных

#### Графики в координатах X-Y

Могут использоваться ось X и до восьми осей Y, линейная и логарифмическая шкалы, построение графиков в режиме реального времени. Графики в координатах X-Y можно выводить на печать или сохранять как изображения в памяти устройства или на накопителе (форматы bmp, gif, png, emf). Масштаб: автоматическое масштабирование и изменение масштаба

Маркер: маркеры для минимума/максимума, интерполяция, прямой маркер и отмена маркера

Курсор: непосредственное определение положения курсора  
Линия: две линии, нормальный режим, градиентный режим, тангенциальный режим, регрессивный режим

Сравнение графиков наложением: допускается наложение графических построений

### Отображение списка

Для измеренных данных и данных, вычисленных при помощи функций, также отображаются связи с шагом свипирования или номер шага при выборке в заданной временной области. Допускается отображение до 20 наборов данных.

### Отображение переменных

В окне графиков могут отображаться до 20 заданных параметров.

### Функция автоматического анализа

При помощи функции автоматического анализа на построенном графике можно автоматически размещать маркеры и линии. Параметры могут определяться автоматически с использованием функции автоматического анализа, пользовательской функции и функции считывания.

### Аналитические функции

При помощи арифметических выражений можно задать до двадцати пользовательских аналитических функций.

В расчетах допускается использование измеренных данных, заданных переменных и функций считывания. Результат может выводиться на ЖК-дисплей.

### Функции считывания

Функции считывания являются встроенными и используются для считывания различных значений, связанных с маркером, курсором или линией.

## Арифметические функции

### Функции пользователя

При помощи арифметических выражений можно задать до двадцати пользовательских аналитических функций. В расчетах допускается использование измеренных данных и заданных переменных. Результат может выводиться на ЖК-дисплей.

### Арифметические операторы

+, -, \*, /, ^, abs (модуль), at (арктангенс), avg (среднее), cond (условное определение), delta (разность), diff (дифференциал), exp (экспонента), integ (интегрирование), lgt (десятичный логарифм), log (натуральный логарифм), mavg (скользящее среднее), max (максимум), min (минимум), sqrt (квадратный корень), тригонометрические функции, обратные тригонометрические функции и т. д.

### Физические константы

Физическим константам на клавиатуре соответствуют:  
q: заряд электрона, 1,602177E-19 C  
k: постоянная Больцмана, 1,380658E-23  
e (e): диэлектрическая постоянная вакуума, 8,854188E-12

### Технические единицы измерения

На клавиатуре доступны также символы следующих десятичных приставок:  
a ( $10^{-18}$ ), f ( $10^{-15}$ ), p ( $10^{-12}$ ), н ( $10^{-9}$ ),  
и или  $\mu$  ( $10^{-6}$ ), м ( $10^{-3}$ ), к ( $10^3$ ), М ( $10^6$ ),  
G ( $10^9$ ), Т ( $10^{12}$ ), Р ( $10^{15}$ )

## Управление данными

### Рабочее пространство (встроенная база данных)

- Программное обеспечение EasyEXPERT group+ поддерживает встроенную базу данных, называемую рабочим пространством. Рабочие пространства представляют собой отдельные рабочие области на внутреннем жестком диске, которые позволяют управлять и получать доступ ко всем связанным с измерениями данным без обращения к многочисленным файлам. Каждое рабочее пространство обеспечивает выполнение следующих функций:
- Доступ к измерительным функциям и данным, сохраненным в рабочем пространстве
- Сохранение/Импорт/Экспорт данных и настроек измерений (библиотека приложений, настройки измерений, избранные пользовательские настройки (My Favorite Setups) и данные измерений)
- Вызов настроек для воспроизведения измерения и данных для анализа

### Автоматическая запись / автоматический экспорт данных

В программе EasyEXPERT group+ предусмотрена возможность автоматического сохранения настроек и данных измерений в пределах рабочего пространства. Данные измерений также можно экспорттировать в режиме реального времени с использованием разных форматов, в том числе Excel (xls).

### Импорт/экспорт файлов

Типы файлов:

Формат Keysight EasyEXPERT, форматы XML-SS и CSV

### Защита данных

В программе EasyEXPERT group+ предусмотрены следующие возможности защиты важных данных:

- Защита паролем (рабочего пространства, описания теста и раздела My Favorite)
- Контроль доступа на уровне пользователя (режим инженера / режим оператора)

### Создание резервной копии и перенос рабочего пространства

В программе EasyEXPERT group+ предусмотрены функции импорта/экспорта рабочего пространства, обеспечивающие возможность его резервного копирования и переноса.

## Приборы, поддерживаемые ПО EasyEXPERT group+, и обязательные условия

### Поддерживаемые приборы и функции

		Серия анализаторов для точного измерения тока – напряжения			Непрерывно действующий анализатор параметров
		Усовершенствованный анализатор устройств	Прецизионный анализатор ВАХ		
		B1500A	E5270B	E5262/63A E5260A	4155В/С 4156В/С
Поддерживаемый режим работы	Классический тест	Да	Да	Да	Да
	Прикладной тест	Да	Да	Да	Да
	Характериограф	Да	Да <sup>1</sup>	Да <sup>1</sup>	-
	Быстрый тест	Да	Да	Да	Да
Измерительные функции	ВАХ со свипированием	Да	Да	Да	Да <sup>2</sup>
	Многоканальная ВАХ со свипированием	Да	Да	Да	-
	Список ВАХ со свипированием	Да	Да	Да	-
	Временная выборка ВАХ	Да	-	-	Да
	ВФХ со свипированием	Да	-	-	-
	Управление импульсным генератором	Да	-	-	-
Управление коммутирующей матрицей на базе GUI	B2200/01A и E5250A/E5252A	B2200/01A и E5250A/E5252A	B2200/01A и E5250A/E5252A	B2200/01A и E5250A/E5252A	
Поддержка драйвера внешнего прибора	LCR meter	4284A/E4980A	4284A/E4980A	4284A/E4980A	4284A/E4980A
	Pulse Generator	81110A	81110A	81110A	81110A
	DVM	3458A	3458A	3458A	3458A
Управление зондовой станцией в режиме Quick Test	Cascade Microtech Sumit 12000/S300 (Nucleus)	Cascade Microtech Sumit 12000/S300 (Nucleus)	Cascade Microtech Sumit 12000/S300 (Nucleus)	Cascade Microtech Sumit 12000/S300 (Nucleus)	Cascade Microtech Sumit 12000/S300 (Nucleus)
	Cascade Microtech (Suss MicroTec) PA200/PA300	Cascade Microtech (Suss MicroTec) PA200/PA300	Cascade Microtech (Suss MicroTec) PA200/PA300	Cascade Microtech (Suss MicroTec) PA200/PA300	Cascade Microtech (Suss MicroTec) PA200/PA300
	Vector Semiconductor BX-2000/VX-3000	Vector Semiconductor BX-2000/VX-3000	Vector Semiconductor BX-2000/VX-3000	Vector Semiconductor BX-2000/VX-3000	Vector Semiconductor BX-2000/VX-3000
Требования по встроенному ПО	A.04.00 или выше <sup>3</sup>	B.01.10 или выше	B.01.10 или выше	HOSTC: 03.08 или выше SMUC: 04.08 или выше	

1. Будет поддерживаться в будущих версиях.

2. Поддерживаются модули PGU и VSU/VMU. Дифференциальное измерение напряжения в VMU не поддерживается.

3. Для последних версий внутреннего ПО настоятельно рекомендуем использовать все преимущества измерительных функций.

## Обязательные условия

Обязательные условия использования программы EasyEXPERT, инструментальной библиотеки WGFMU и прочего программного обеспечения на внешнем ПК

Операционная система и пакет обновления	Microsoft Windows Vista Business SP2 или более поздняя версия (32 бита)	Microsoft Windows 7 Professional SP1 или более поздняя версия (32/64 бита)	Microsoft Windows 8.1 Professional или более поздняя версия (32/64 бита)
Процессор	ПК, аттестованный для установки Vista	ПК, аттестованный для установки Windows 7	ПК, аттестованный для установки Windows 8.1
Поддерживаемый язык	Английский (США)	Английский (США)	Английский (США)
.NET Framework	Microsoft .NET Framework 3.5 SP1	Microsoft .NET Framework 3.5 SP1	Microsoft .NET Framework 3.5 SP1
Память	2 ГБ	2 ГБ	2 ГБ
Дисплей	XGA 1024 x 768 (рекомендовано SXGA 1280 x 1024)	XGA 1024 x 768 (рекомендовано SXGA 1280 x 1024)	XGA 1024 x 768 (рекомендовано SXGA 1280 x 1024)
HDD	Установка: 1 ГБ свободного пространства на диске C	Установка: 1 ГБ свободного пространства на диске C	Установка: 1 ГБ свободного пространства на диске C
	Хранение настроек теста/данных результата: Рекомендуется наличие свободного дискового пространства более 30 ГБ	Хранение настроек теста/данных результата: Рекомендуется наличие свободного дискового пространства более 30 ГБ	Хранение настроек теста/данных результата: Рекомендуется наличие свободного дискового пространства более 30 ГБ

## Рекомендованный интерфейс для GPIB

	Интерфейс	B1500A	4155B/C 4156B/C
Keysight	82350B	PCI	✓ <sup>1</sup>
	82357A	USB	✓ <sup>2</sup>
	82357B	USB	✓ <sup>2</sup>
National Instruments	GPIB-USB-HS	USB	✓ <sup>2</sup>

- Настоятельно рекомендуем использовать плату 82350B ввиду ее устойчивости и быстродействия.
- Периодически интерфейс USB GPIB может вызывать ошибку последовательного опроса из-за различий в используемых схемах связи. По некоторым сведениям, даже использование адресации GPIB иногда значительно снижает вероятность ошибки. Для обеспечения устойчивости рекомендуем применять NI GPIB-USB-HS, а для повышения быстродействия – Keysight 82357B.

## Информация для заказа

<b>Базовый модуль</b>		<b>Дополнительные пакеты</b>
B1500A	Базовый модуль анализатора полупроводниковых приборов В комплект поставки входят: 16444A-001 Клавиатура 16444A-002 Мышь USB 16444A-003 Стилус 16493J-001/002 Соединительный кабель длиной 1,5 или 3,0 м* 16493L-001/002 Кабель модуля GNDU длиной 1,5 или 3,0 м* 16494A-001/002 Триаксиальный кабель длиной 1,5 или 3,0 м* N1254A-100 Переходник для модуля GNDU для схемы Кельвина CD-ROM Руководства, прочее *Для определения длины кабеля следует выбирать артикулы B1500A-015 или B1500A-030	B1500A-A10 Дополнительный модуль HPSMU (1 шт. HPSMU, с кабелями) B1500A-A11 Дополнительный модуль MPSMU (1 шт. MPSMU, с кабелями) B1500A-A17 Дополнительный модуль HRSMU (1 шт. HRSMU, с кабелями) B1500A-A1A Дополнительный модуль MCSMU (1 шт. MCSMU, с кабелями и соединительной коробкой) B1500A-A1B Дополнительные модули MCSMU (2 шт. MCSMU, с кабелями и соединительной коробкой) B1500A-A20 Дополнительный модуль MFCMU (MFCMU, кабель) B1500A-A25 Дополнительный модуль HVSPGU (1 шт. HVSPGU, с кабелями) B1500A-A28 Дополнительный модуль ASU (модуль коммутации и измерения аттоамперных токов) для HRSMU (1 шт. ASU, с кабелями) B1500A-A29 Дополнительный модуль ASU (модуль коммутации и измерения аттоамперных токов) для MPSMU (1 шт. ASU, с кабелями) B1500A-A30 Дополнительный модуль WGFMU (1 шт. WGF-MU, 2 шт. RSU, с кабелями) B1500A-A31 Дополнительный модуль WGFMU с переходником (1 шт. WGFMU 1ea, 2 шт. RSU, с кабелями и соединительным переходником) B1500A-A3P Комплект кабелей для зондов модуля WGFMU (8 кабелей для зондов, модуль WGFMU в пакет не входит) B1500A-A5F Оснастка для выполнения типовых измерений (16442B 1 шт.)
B1500A-015	Кабель 1,5 м (кабель длиной 1,5 м входит в стандартную комплектацию и дополнительные пакеты)	
B1500A-030	Кабель 3,0 м (кабель длиной 3,0 м входит в стандартную комплектацию и дополнительные пакеты)	
B1500A-050	Частота линии питания 50 Гц	
B1500A-060	Частота линии питания 60 Гц	
B1500A-A6J*	Калибровка по нормам ANSI Z540	
B1500A-UK6*	Сертификат коммерческой калибровки и данные испытаний	
B1500A-ABA	Техническая документация на английском языке	
B1500A-ABJ	Техническая документация на японском языке	
<b>Стандартные пакеты</b>		<b>Дополнительное оснащение</b>
B1500A-A00	Пустой пакет для пользовательских решений	N1301A Дополнительное оснащение СМУ для анализатора B1500
B1500A-A01	Стандартный пакет (4 шт. MPSMU, с кабелями)	N1301A-100 Устройство объединения модулей SMU и СМУ (SCUU)
B1500A-A02	Пакет высокого разрешения (4 шт. HRSMU, с кабелями)	N1301A-102 Кабель устройства объединения SMU и СМУ (длиной 3 м)
B1500A-A03	Пакет высокой мощности (2 шт. HPSMU, 2 шт. MPSMU, с кабелями)	N1301A-110 Магнитная стойка для устройства объединения SMU и СМУ
B1500A-A04	Базовый пакет для тестирования ячеек флэш-памяти (2 шт. MPSMU, 2 шт. HRSMU, SPGU, дополнительное оснащение)	N1301A-200 Устройство безопасного переключения (GSWU)

\* Варианты A6J и UK6 доступны ТОЛЬКО при исходной поставке.

- Вариант A6J включает тестовые данные и погрешности измерения, полученные в процессе калибровки, а также сертификат калибровки, подтверждающий, что прибор прошел калибровку в соответствии с нормами ANSI Z540 и что его эксплуатационные показатели соответствуют заявленным в опубликованных спецификациях.
- Вариант UK6 включает тестовые данные, полученные в процессе калибровки, а также сертификат калибровки, подтверждающий, что прибор прошел калибровку и что его эксплуатационные показатели соответствуют заявленным в опубликованных спецификациях.

## Комплектация опциональных пакетов<sup>1</sup>

### Стандартные пакеты

Артикул	Описание	К-во
<b>B1500A-A01 Стандартный пакет</b>		

B1511B	MPSMU (модуль SMU средней мощности)	4
16494A-001/002	Триаксиальный кабель длиной 1,5 или 3,0 м	8

<b>B1500A-A02 Пакет высокого разрешения</b>		
B1517A	HRSMU (модуль SMU с высоким разрешением)	4
16494A-001/002	Триаксиальный кабель длиной 1,5 или 3,0 м	8

<b>B1500A-A03 Пакет высокой мощности</b>		
B1511B	MPSMU (модуль SMU средней мощности)	2
B1510A	HPSMU (модуль SMU большой мощности)	2
16494A-001/002	Триаксиальный кабель длиной 1,5 или 3,0 м	8

<b>B1500A-A04 Базовый пакет для тестирования ячеек флэш-памяти</b>		
B1511B	MPSMU (модуль SMU средней мощности)	2
B1517A	HRSMU (модуль SMU с высоким разрешением)	2
B1525A	HVSPGU (модуль генератора импульсов)	1

16493P-001 / 002	Кабель генератора импульсов (SMA-TO-CO-AXIAL), длина 1,5 или 3,0 м	2
16440A	Селектор SMU / импульсный генератор	1
16440A-003	Кабель управления 40 см (для второго селектора)	1
16445A	Модуль селектора подключений	1
16445A-001	Кабель управления, соединяющий B1500A и 16440A, 1,5 м	1
16494A-001	Триаксиальный кабель длиной 1,5 м	2
16494A-001/002	Триаксиальный кабель длиной 1,5 м или 3,0 м	8

### Дополнительные пакеты

<b>B1500A-A10 Дополнительный пакет HPSMU</b>		
B1510A	HPSMU (Модуль SMU высокой мощности)	1
16494A-001/002	Триаксиальный кабель длиной 1,5 или 3,0 м	2

<b>B1500A-A11 Дополнительный пакет MPSMU</b>		
B1511B	MPSMU (Модуль SMU средней мощности)	1
16494A-001/002	Триаксиальный кабель длиной 1,5 или 3,0 м	2

<b>B1500A-A17 Дополнительный пакет HRSMU</b>		
B1517A	HRSMU (Модуль SMU высокого разрешения)	1
16494A-001/002	Триаксиальный кабель длиной 1,5 или 3,0 м	2

<b>B1500A-A1A Дополнительный пакет MCSMU</b>		
B1514A	MCSMU (Модуль SMU для средних токов)	1
16494A-001/002	Триаксиальный кабель длиной 1,5 или 3,0 м	2
N1255A	2-канальная соединительная коробка для MCSMU	1

<b>B1500A-A1B Дополнительный пакет MCSMU</b>		
B1514A	MCSMU (Модуль SMU для средних токов)	2
16494A-001/002	Триаксиальный кабель длиной 1,5 или 3,0 м	4
N1255A	2-канальная соединительная коробка для MCSMU	1

Артикул	Описание	К-во
<b>B1500A-A20 Дополнительный пакет MFCMU</b>		

B1520A	MFCMU	1
N1300A-001/002	Кабель для подключения СМУ к анализатору B1500A, длина 1,5 или 3,0 м	1

<b>B1500A-A25 Дополнительный пакет HVSPGU</b>		
B1525A	HVSPGU	1
16493P-001/002	Кабель генератора импульсов (коаксиальный, разъем SMA), длина 1,5 или 3,0 м	2

<b>B1500A-A28/A29 Дополнительный пакет ASU</b>		
E5288A	ASU (модуль коммутации и измерения аттоамперных токов)	1
E5288A-001/002	Триаксиальный кабель для ASU с разъемом Dsub, длина 1,5 или 3,0 м	1

<b>B1500A-A30 Дополнительный пакет WGFMU<sup>2</sup></b>		
B1530A	Один модуль WGFMU и два RSU	1
B1530A-005/002	Два кабеля WGFMU (длиной 1,5 или 3,0 м) для соединения между WGFMU и RSU	1

<b>B1500A-A31 Дополнительный пакет WGFMU с переходником для подключения<sup>2</sup></b>		
B1530A	Один модуль WGFMU и два RSU	1
B1530A-001	Два комплектных кабеля WGFMU (0,6 + 2,4 м)	1

<b>B1500A-A3P Комплект кабелей для зондов WGFMU</b>		
16493R-101	Кабель SSMC-SSMC (50 мм) для замыкания цепи тока	2
16493R-102	Кабель SSMC-SSMC (70 мм) для замыкания цепи тока	2
16493R-202	Кабель SMA-SSMC (200 мм) между RSU и зондом постоянного тока	2
16493R-302	Кабель SMA-SMA (200 мм) между RSU и радиочастотным зондом	2

<b>B1500A-A5F Оснастка для выполнения типовых измерений</b>		
16442B	Приспособление для испытаний	1
	Переходник для приспособления	1
	Модуль универсального монтажного гнезда	2
	Модуль монтажного гнезда 28 конт. DIP	1
	Панель-заглушка из тефлона	1
	Кабели, используемые с переходником приспособления	39
	Кейс для переноски	1

1. Длина кабеля определяется опцией B1500A-015 или B1500A-030.

2. Если для RSU (выносной модуль измерения и коммутации) требуется магнитная стойка, артикул изделия – 16493R-802.

myKeysight

myKeysight

[www.keysight.com/find/mykeysight](http://www.keysight.com/find/mykeysight)

Персонализированный обзор информации, в наибольшей степени соответствующей вашим потребностям.

Три года гарантии

[www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty](http://www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty)

Keysight обеспечивает высочайшее качество продукции и снижение общей стоимости владения. Единственный производитель контрольно-измерительного оборудования, обеспечивающий стандартную трехлетнюю гарантию на все свое оборудование.



Keysight Infoline

[www.keysight.com/go/quality](http://www.keysight.com/go/quality)

Keysight Technologies, Inc.

Система управления качеством Keysight сертифицирована DEKRA по ISO 9001:2008

Keysight Infoline

[www.keysight.com/find/service](http://www.keysight.com/find/service)

Онлайн-доступ к документации и электронным библиотекам по вашим приборам Keysight.

Keysight Channel Partners

[www.keysight.com/find/channelpartners](http://www.keysight.com/find/channelpartners)

Получите двойную выгоду: богатый опыт и широкий выбор продуктов Keysight в сочетании с удобствами, предлагаемыми торговыми партнерами.

[www.keysight.com/find/b1500](http://www.keysight.com/find/b1500)



(BP-04-23-15)

Серия прецизионных анализаторов тока-напряжения и анализатор мощных полупроводниковых устройств Keysight

[www.keysight.com/find/analyizer](http://www.keysight.com/find/analyizer)

Данная информация может быть изменена без предварительного уведомления.  
© Keysight Technologies, 2013 – 2015  
Published in USA, June 15, 2015  
5989-2785RURU

[www.keysight.com](http://www.keysight.com)