

Архангельск (8182)63-90-72
Астана (7172)727-132
Астрахань (8512)99-46-04
Барнаул (3852)73-04-60
Белгород (4722)40-23-64
Брянск (4832)59-03-52
Владивосток (423)249-28-31
Волгоград (844)278-03-48
Вологда (8172)26-41-59
Воронеж (473)204-51-73
Екатеринбург (343)384-55-89
Иваново (4932)77-34-06

Ижевск (3412)26-03-58
Иркутск (395)279-98-46
Казань (843)206-01-48
Калининград (4012)72-03-81
Калуга (4842)92-23-67
Кемерово (3842)65-04-62
Киров (8332)68-02-04
Краснодар (861)203-40-90
Красноярск (391)204-63-61
Курск (4712)77-13-04
Липецк (4742)52-20-81
Киргизия (996)312-96-26-47

Магнитогорск (3519)55-03-13
Москва (495)268-04-70
Мурманск (8152)59-64-93
Набережные Челны (8552)20-53-41
Нижний Новгород (831)429-08-12
Новокузнецк (3843)20-46-81
Новосибирск (383)227-86-73
Омск (3812)21-46-40
Орел (4862)44-53-42
Оренбург (3532)37-68-04
Пенза (8412)22-31-16
Россия (495)268-04-70

Пермь (342)205-81-47
Ростов-на-Дону (863)308-18-15
Рязань (4912)46-61-64
Самара (846)206-03-16
Санкт-Петербург (812)309-46-40
Саратов (845)249-38-78
Севастополь (8692)22-31-93
Симферополь (3652)67-13-56
Смоленск (4812)29-41-54
Сочи (862)225-72-31
Ставрополь (8652)20-65-13
Казахстан (772)734-952-31

Сургут (3462)77-98-35
Тверь (4822)63-31-35
Томск (3822)98-41-53
Тула (4872)74-02-29
Тюмень (3452)66-21-18
Ульяновск (8422)24-23-59
Уфа (347)229-48-12
Хабаровск (4212)92-98-04
Челябинск (351)202-03-61
Череповец (8202)49-02-64
Ярославль (4852)69-52-93

<https://keithley.nt-rt.ru/> || kyh@nt-rt.ru

ОПИСАНИЕ ТИПА СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Калибраторы-измерители напряжения и силы тока Keithley 2450, Keithley 2460, Keithley 2461

Назначение средства измерений

Калибраторы-измерители напряжения и силы тока Keithley 2450, Keithley 2460, Keithley 2461 (далее - калибраторы) предназначены для воспроизведения напряжения и силы постоянного тока, измерения напряжения, силы постоянного тока и сопротивления.

Описание средства измерений

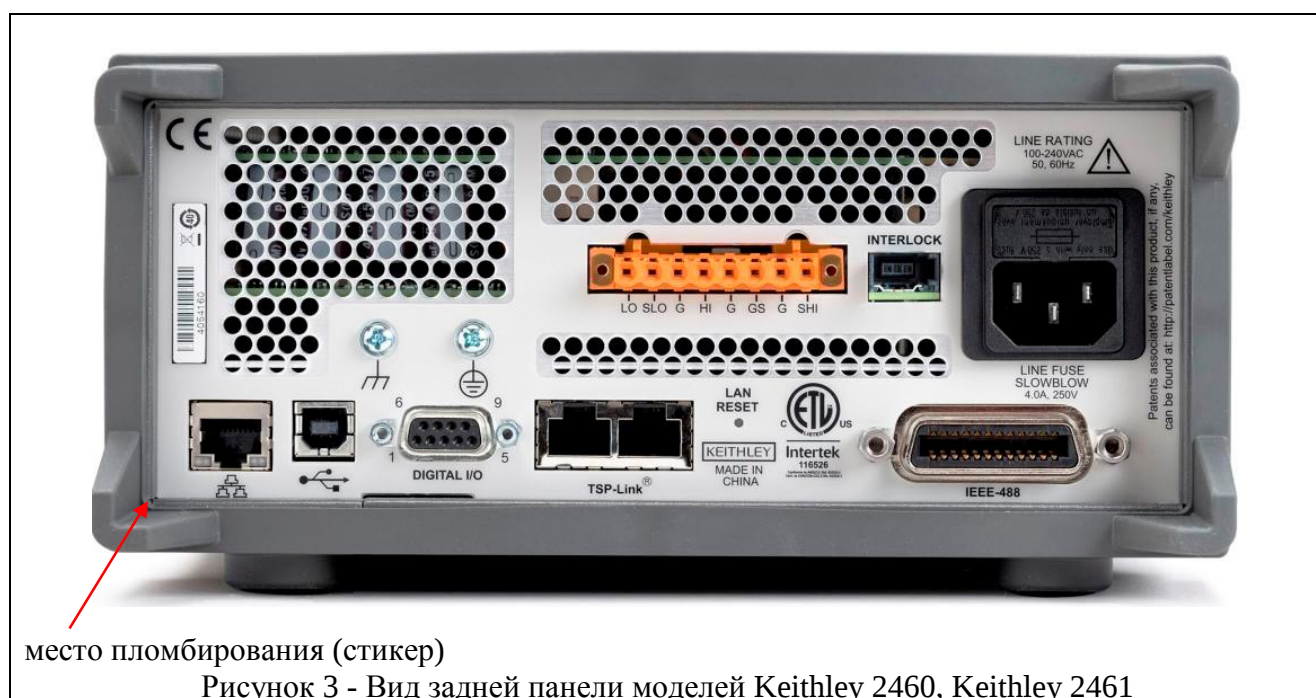
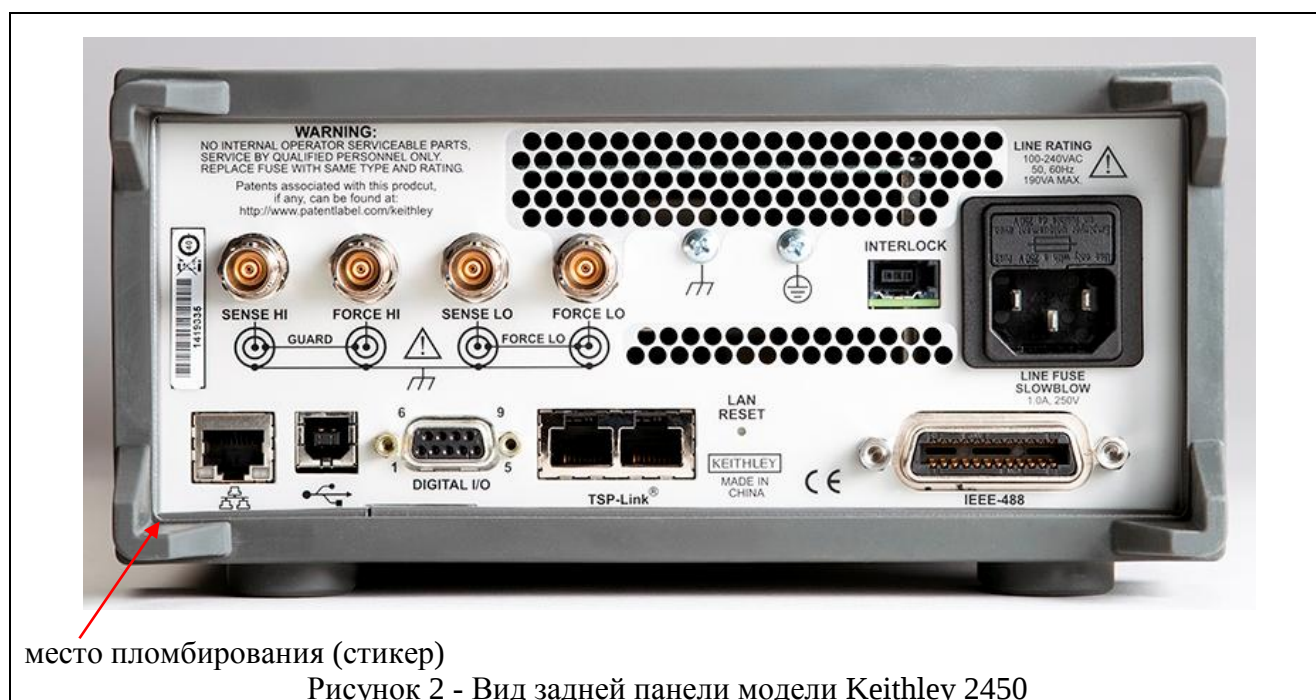
Принцип действия основан на цифро-аналоговом преобразовании заданного в цифровом коде значения напряжения или силы тока в выходную аналоговую величину и аналого-цифровом преобразовании входного напряжения или силы тока в цифровой код. Для измерения напряжения и силы тока используются аналого-цифровые преобразователи в каналах напряжения и тока. Измерение сопротивления производится путем задания напряжения на исследуемой нагрузке и измерении силы тока, протекающего в измерительной цепи, вычисления значений этих величин через измеренные значения напряжения и силы тока. Калибраторы могут быть использованы в режиме прецизионной электронной нагрузки.

На встроенный микроконтроллер установлено фирменное программное обеспечение. Управление режимами работы производится с лицевой панели либо дистанционно через интерфейсы GPIB, LXI/Ethernet, USB, а также с цифровых входов/выходов. Для хранения измеренных данных и пользовательских настроек может быть использован подключаемый к порту USB флеш-накопитель. Параметры режимов работы, значения воспроизводимых и измеряемых величин отображаются на цветном жидкокристаллическом дисплее с сенсорным управлением.

Конструктивно калибраторы выполнены в виде моноблока в настольном исполнении. Вид передней панели показан на рисунке 1, вид задней панели - на рисунках 2 и 3.

В качестве опций калибраторы могут быть поставлены в исполнениях NFP (без органов на передней панели), RACK (без ручки), NFP-RACK (без органов на передней панели и без ручки).





Программное обеспечение

Программное обеспечение, установленное на встроенный микроконтроллер, по структуре является целостным и служит для управления режимами работы, задания диапазонов воспроизведения и измерения, выполнения математических функций обработки измерительной информации, усреднений с различными режимами выборки, и прочие сервисные функции. Калибровочные константы хранятся в энергонезависимой памяти микроконтроллера. Для расширения функциональных возможностей прилагается программа “Test Script Builder”.

Уровень защиты от непреднамеренных и преднамеренных изменений - «низкий» по P50.2.077-2014 (класс риска “А” по WELMEC 7.2, Issue 5).

Идентификационные данные программного обеспечения приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Идентификационные данные программного обеспечения

Идентификационные данные (признаки)	Значение		
Модель	Keithley 2450	Keithley 2460	Keithley 2461
идентификационное наименование	2450 Firmware	2460 Firmware	2461 Firmware
идентификационный номер версии	v1.2.0 и выше	v1.3.0 и выше	v1.4.1d и выше

Метрологические и технические характеристики
представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Метрологические и технические характеристики

Верхние пределы диапазонов воспроизведения и измерения напряжения	
Keithley 2450	20, 200 мВ; 2, 20, 200 В
Keithley 2460/2461	200 мВ; 2, 7, 10, 20, 100 В
Верхние пределы диапазонов воспроизведения и измерения силы тока	
Keithley 2450, Keithley 2460/2461	от 10 нА до 1 А с шагом, кратным 10
Keithley 2460/2461	от 1 мкА до 1 А с шагом, кратным 10
Примечание: диапазон 10 А (импульсный режим) только в модели Keithley 2461; коэффициент заполнения не более 10 % при напряжении до 20 В, не более 5 % при напряжении свыше 20 В	
Верхние пределы диапазонов измерения сопротивления	
в ручном выборе диапазона	задается выбором пределов напряжения и силы тока
в автоматическом выборе диапазона	
Keithley 2450	от 20 Ом до 200 МОм
Keithley 2460	от 20 Ом до 20 МОм
Keithley 2461	от 2 Ом до 200 МОм
Разрешение индикации	6 ½ разрядов
Максимальная выходная мощность, Вт	
Keithley 2450	20
Keithley 2460	100
Keithley 2461	105 в непрерывном режиме 1050 в импульсном режиме
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности воспроизведения постоянного напряжения U при температуре (23 ± 5) °С, мкВ (мВ)	
Keithley 2450	
на пределе 20 мВ	$\pm(1 \cdot 10^{-3} \cdot U + U_0)$, $U_0 = 200$ мкВ
на пределе 200 мВ	$\pm(1,5 \cdot 10^{-4} \cdot U + U_0)$, $U_0 = 200$ мкВ
на пределе 2 В	$\pm(2 \cdot 10^{-4} \cdot U + U_0)$, $U_0 = 300$ мкВ
на пределе 20 В	$\pm(1,5 \cdot 10^{-4} \cdot U + U_0)$, $U_0 = 2,4$ мВ
на пределе 200 В	$\pm(1,5 \cdot 10^{-4} \cdot U + U_0)$, $U_0 = 24$ мВ
Keithley 2460/2461	
на пределе 200 мВ	$\pm(1,5 \cdot 10^{-4} \cdot U + U_0)$, $U_0 = 200$ мкВ
на пределе 2 В	$\pm(1,5 \cdot 10^{-4} \cdot U + U_0)$, $U_0 = 300$ мкВ
на пределах 7; 10; 20 В	$\pm(1,5 \cdot 10^{-4} \cdot U + U_0)$, $U_0 = 2,4$ мВ
на пределе 100 В	$\pm(1,5 \cdot 10^{-4} \cdot U + U_0)$, $U_0 = 15$ мВ

Продолжение таблицы 2

Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерения постоянного напряжения U при температуре (23 ± 5) °C, мкВ (мВ)	
Keithley 2450	
на пределе 20 мВ	$\pm(1 \cdot 10^{-3} \cdot U + U_0)$, $U_0 = 150$ мкВ
на пределе 200 мВ	$\pm(1,2 \cdot 10^{-4} \cdot U + U_0)$, $U_0 = 200$ мкВ
на пределе 2 В	$\pm(1,2 \cdot 10^{-4} \cdot U + U_0)$, $U_0 = 300$ мкВ
на пределе 20 В	$\pm(1,5 \cdot 10^{-4} \cdot U + U_0)$, $U_0 = 1$ мВ
на пределе 200 В	$\pm(1,5 \cdot 10^{-4} \cdot U + U_0)$, $U_0 = 10$ мВ
Keithley 2460/2461	
на пределе 200 мВ	$\pm(1,2 \cdot 10^{-4} \cdot U + U_0)$, $U_0 = 200$ мкВ
на пределе 2 В	$\pm(1,2 \cdot 10^{-4} \cdot U + U_0)$, $U_0 = 300$ мкВ
на пределах 7; 10; 20 В	$\pm(1,5 \cdot 10^{-4} \cdot U + U_0)$, $U_0 = 1$ мВ
на пределе 100 В	$\pm(1,5 \cdot 10^{-4} \cdot U + U_0)$, $U_0 = 5$ мВ
Пределы допускаемой основной погрешности воспроизведения силы постоянного тока I при температуре (23 ± 5) °C, пА (нА, мкА)	
Keithley 2450	
на пределе 10 нА	$\pm(1 \cdot 10^{-3} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 100$ пА
на пределе 100 нА	$\pm(6 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 150$ пА
на пределе 1 мкА	$\pm(2,5 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 400$ пА
на пределе 10 мкА	$\pm(2,5 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 1,5$ нА
на пределе 100 мкА	$\pm(2 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 15$ нА
на пределе 1 мА	$\pm(2 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 150$ нА
на пределе 10 мА	$\pm(2 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 1,5$ мкА
на пределе 100 мА	$\pm(2,5 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 15$ мкА
на пределе 1 А	$\pm(6,7 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 900$ мкА
Keithley 2460/2461	
на пределе 1 мкА	$\pm(2,5 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 1$ нА
на пределе 10 мкА	$\pm(2,5 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 1,5$ нА
на пределе 100 мкА	$\pm(2 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 15$ нА
на пределе 1 мА	$\pm(2 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 150$ нА
на пределе 10 мА	$\pm(2 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 1,5$ мкА
на пределе 100 мА	$\pm(2 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 15$ мкА
на пределе 1 А	$\pm(5 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 750$ мкА
на пределах 4; 5 А	$\pm(1 \cdot 10^{-3} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 3$ А
на пределе 7 А (10 А)	$\pm(1,5 \cdot 10^{-3} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 6$ А *
Примечание: погрешность на пределе 10 А для модели Keithley 2461 нормируется до 7,35 А, указанные значения погрешности на пределе 7 А действительны до 7,35 А для предела 10 А	
Пределы допускаемой основной погрешности измерения силы постоянного тока I при температуре (23 ± 5) °C, пА (нА, мкА)	
Keithley 2450	
на пределе 10 нА	$\pm(1 \cdot 10^{-3} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 50$ пА
на пределе 100 нА	$\pm(6 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 100$ пА
на пределе 1 мкА	$\pm(2,5 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 300$ пА
на пределе 10 мкА	$\pm(2,5 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 700$ пА
на пределе 100 мкА	$\pm(2 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 6$ нА
на пределе 1 мА	$\pm(2 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 60$ нА
на пределе 10 мА	$\pm(2 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 600$ нА
на пределе 100 мА	$\pm(2,5 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 6$ мкА
на пределе 1 А	$\pm(3 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 500$ мкА

Продолжение таблицы 2

Keithley 2460/2461	
на пределе 1 мкА	$\pm(2,5 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 700$ пА
на пределе 10 мкА	$\pm(2,5 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 1$ нА
на пределе 100 мкА	$\pm(2 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 10$ нА
на пределе 1 мА	$\pm(2 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 100$ нА
на пределе 10 мА	$\pm(2 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 1$ мкА
на пределе 100 мА	$\pm(2 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 10$ мкА
на пределе 1 А	$\pm(5 \cdot 10^{-4} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 500$ мкА
на пределах 4; 5 А	$\pm(1 \cdot 10^{-3} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 2,5$ мА
на пределе 7 А (10 А)	$\pm(1,5 \cdot 10^{-3} \cdot I + I_0)$, $I_0 = 5$ мА *
Примечание: для модели Keithley 2461 погрешность на пределе 10 А нормируется до 7,35 А; указанные значения погрешности на пределе 7 А действительны до 7,35 А на пределе 10 А	
Пределы допускаемой основной погрешности измерения сопротивления R при температуре (23 ± 5) °С, МОм (Ом, кОм)	
Keithley 2450	
R < 20 Ом	сумма погрешностей для U, I
на пределе 20 Ом	$\pm(9,8 \cdot 10^{-4} \cdot R + R_0)$, $R_0 = 3$ МОм
на пределе 200 Ом	$\pm(7,7 \cdot 10^{-4} \cdot R + R_0)$, $R_0 = 30$ МОм
на пределе 2 кОм	$\pm(6,6 \cdot 10^{-4} \cdot R + R_0)$, $R_0 = 300$ МОм
на пределе 20 кОм	$\pm(6,3 \cdot 10^{-4} \cdot R + R_0)$, $R_0 = 3$ Ом
на пределе 200 кОм	$\pm(6,5 \cdot 10^{-4} \cdot R + R_0)$, $R_0 = 30$ Ом
на пределе 2 МОм	$\pm(1,1 \cdot 10^{-3} \cdot R + R_0)$, $R_0 = 300$ Ом
на пределе 20 МОм	$\pm(1,1 \cdot 10^{-3} \cdot R + R_0)$, $R_0 = 1$ кОм
на пределе 200 МОм	$\pm(6,55 \cdot 10^{-3} \cdot R + R_0)$, $R_0 = 10$ кОм
R > 200 МОм	сумма погрешностей для U, I
Keithley 2460/2461	
R < 2 Ом (2461)	сумма погрешностей для U, I
R < 20 Ом (2460)	сумма погрешностей для U, I
на пределе 2 Ом (2461)	$\pm(5 \cdot 10^{-4} \cdot R + R_0)$, $R_0 = 3$ МОм
на пределе 20 Ом	$\pm(5 \cdot 10^{-4} \cdot R + R_0)$, $R_0 = 3$ МОм
на пределе 200 Ом	$\pm(5 \cdot 10^{-4} \cdot R + R_0)$, $R_0 = 30$ МОм
на пределе 2 кОм	$\pm(5 \cdot 10^{-4} \cdot R + R_0)$, $R_0 = 300$ МОм
на пределе 20 кОм	$\pm(5 \cdot 10^{-4} \cdot R + R_0)$, $R_0 = 3$ Ом
на пределе 200 кОм	$\pm(5 \cdot 10^{-4} \cdot R + R_0)$, $R_0 = 30$ Ом
на пределе 2 МОм	$\pm(6 \cdot 10^{-4} \cdot R + R_0)$, $R_0 = 100$ Ом
на пределе 20 МОм	$\pm(1,4 \cdot 10^{-3} \cdot R + R_0)$, $R_0 = 1$ кОм
на пределе 200 МОм (2461)	$\pm(1,04 \cdot 10^{-2} \cdot R + R_0)$, $R_0 = 10$ кОм
R > 20 МОм (2460)	сумма погрешностей для U, I
R > 200 МОм (2460)	сумма погрешностей для U, I
Пределы допускаемой дополнительной относительной погрешности воспроизведения и измерения напряжения, силы тока и сопротивления в интервалах температур от 0 до 18 °С и от 28 до 50 °С: $\pm 1,5 \cdot 10^{-3} / ^\circ\text{C}$	
ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Габаритные размеры, ширина x высота x глубина, мм	255 x 106 x 425
Масса, кг, не более	
Keithley 2450	4,05
Keithley 2460/2461	4,75

Продолжение таблицы 2

Потребляемая мощность от сети 220 В; 50 Гц, В·А, не более	
Keithley 2450	190
Keithley 2460/2461	350
Рабочие условия применения	группа 3 ГОСТ 22261-94
температура окружающей среды, °С	от 0 до 50
относительная влажность воздуха при температуре до 35 °С, %	до 70
Температура хранения и транспортирования, °С	от минус 25 до плюс 65
Электромагнитная совместимость (для класса “В”)	ГОСТ Р МЭК 61326-1-2014
Безопасность	ГОСТ IEC 61010-1-2014

Знак утверждения типа

наносится на переднюю панель корпуса в виде наклейки и на титульный лист руководства по эксплуатации типографским способом.

Комплектность средства измерений

Комплектность калибраторов приведена в таблице 3.

Таблица 3 - Комплектность

Наименование и обозначение	Кол-во
Калибратор-измеритель напряжения и силы тока Keithley 2450/2460/2461	1 шт. по заказу
Кабель сетевой	1 шт.
Комплект измерительных кабелей 8608	1 шт.
Колодка для подключения к разъему задней панели 2460-KIT (для 2460/2461)	1 шт.
Кабель USB-B-1 (тип А на тип В длиной 1 м)	1 шт.
Кабель LAN CA-180-3A	1 шт.
Коннектор интрелок CS-1616-3	1 шт.
Компакт-диск с документацией	1 шт.
Компакт-диск с программой “Test Script Builder”	1 шт.
Кабели и принадлежности	по заказу
Руководство по эксплуатации (на компакт-диске)	1 шт.
Методика поверки KI-2450-2016 МП	1 шт.

Поверка

осуществляется по документу KI-2450-2016 МП «Калибраторы-измерители напряжения и силы тока Keithley 2450/2460/2461. Методика поверки», утвержденному ФГУП «ВНИИМС» 20.06.2016 г.

Рекомендуемые средства поверки:

- мультиметр Agilent 3458A, Госреестр № 25900-03;
- набор эталонных мер сопротивления и емкости JW Solutions 5156 DR, Госреестр № 57171-14 (для модели Keithley 2450);
- мера электрического сопротивления универсальная однозначная МС 3080М номиналом 0,01 Ом класса точности не хуже 0,01; Госреестр № 61295-15 (для моделей Keithley 2460/2461).
- калибратор многофункциональный Fluke 5502A, Госреестр № 55804-13;
- магазин сопротивления P40108, Госреестр № 9381-83.

Знак поверки наносится на переднюю панель корпуса калибраторов.

Сведения о методиках (методах) измерений

Методы измерений изложены в разделах документов:

«Калибраторы-измерители напряжения и силы тока Keithley 2450. Руководство по эксплуатации. 2450-900-01»;

«Калибраторы-измерители напряжения и силы тока Keithley 2460. Руководство по эксплуатации. 2460-900-01»;

«Калибраторы-измерители напряжения и силы тока Keithley 2461. Руководство по эксплуатации. 2461-900-01».

Нормативные документы, устанавливающие требования к калибраторам-измерителям напряжения и силы тока Keithley 2450, Keithley 2460, Keithley 2461

1 ГОСТ 22261-94. Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия.

2 ГОСТ 8.027-2001. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений постоянного электрического напряжения и электродвижущей силы.

3 ГОСТ 8.022-91. ГСИ. Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений силы постоянного электрического тока в диапазоне $1 \cdot 10^{-16} \div 30$ А.

4 Государственная поверочная схема для средств измерений электрического сопротивления, утвержденная Приказом Росстандарта от 15.02.2016 г. № 146.

5 ГОСТ Р МЭК 61326-1-2014. Оборудование электрическое для измерения, управления и лабораторного применения. Требования электромагнитной совместимости. Часть 1. Общие требования.

6 ГОСТ ИЕС 61010-1-2014. Безопасность электрических контрольно-измерительных приборов и лабораторного оборудования. Часть 1. Общие требования.

Архангельск (8182)63-90-72
Астана (7172)727-132
Астрахань (8512)99-46-04
Барнаул (3852)73-04-60
Белгород (4722)40-23-64
Брянск (4832)59-03-52
Владивосток (423)249-28-31
Волгоград (844)278-03-48
Вологда (8172)26-41-59
Воронеж (473)204-51-73
Екатеринбург (343)384-55-89
Иваново (4932)77-34-06

Ижевск (3412)26-03-58
Иркутск (395)279-98-46
Казань (843)206-01-48
Калининград (4012)72-03-81
Калуга (4842)92-23-67
Кемерово (3842)65-04-62
Киров (8332)68-02-04
Краснодар (861)203-40-90
Красноярск (391)204-63-61
Курск (4712)77-13-04
Липецк (4742)52-20-81
Киргизия (996)312-96-26-47

Магнитогорск (3519)55-03-13
Москва (495)268-04-70
Мурманск (8152)59-64-93
Набережные Челны (8552)20-53-41
Нижний Новгород (831)429-08-12
Новокузнецк (3843)20-46-81
Новосибирск (383)227-86-73
Омск (3812)21-46-40
Орел (4862)44-53-42
Оренбург (3532)37-68-04
Пенза (8412)22-31-16
Россия (495)268-04-70

Пермь (342)205-81-47
Ростов-на-Дону (863)308-18-15
Рязань (4912)46-61-64
Самара (846)206-03-16
Санкт-Петербург (812)309-46-40
Саратов (845)249-38-78
Севастополь (8692)22-31-93
Симферополь (3652)67-13-56
Смоленск (4812)29-41-54
Сочи (862)225-72-31
Ставрополь (8652)20-65-13
Казахстан (772)734-952-31

Сургут (3462)77-98-35
Тверь (4822)63-31-35
Томск (3822)98-41-53
Тула (4872)74-02-29
Тюмень (3452)66-21-18
Ульяновск (8422)24-23-59
Уфа (347)229-48-12
Хабаровск (4212)92-98-04
Челябинск (351)202-03-61
Череповец (8202)49-02-64
Ярославль (4852)69-52-93

<https://keithley.nt-rt.ru/> || kyh@nt-rt.ru