

# Keysight Technologies

Измерение сопротивления  
с помощью источников/  
измерителей серии B2900A

Рекомендации  
по применению

Прецизионный источник/измеритель Keysight B2901A,  
1 канал, разрешение 100 фА, 210 В, 3 А пост. /10,5 А имп.

Прецизионный источник/измеритель Keysight B2902A,  
2 канала, разрешение 100 фА, 210 В, 3 А пост. / 10,5 А имп.

Прецизионный источник/измеритель Keysight B2911A,  
1 канал, разрешение 10 фА, 210 В, 3 А пост. / 10,5 А имп.

Прецизионный источник/измеритель Keysight B2912A,  
2 канала, разрешение 10 фА, 210 В, 3 А пост. /10,5 А имп.



## Введение

Keysight Technologies, Inc. Источники/измерители B2901/02/11/12A являются недорогими настольными приборами, основной функцией которых является подача и измерение напряжения и тока. Они покрывают диапазон токов от 10 фА до 3 А (пост.)/10,5 А (имп.) и напряжений от 100 нВ до 210 В, что позволяет очень точно и быстро измерять вольт-амперные характеристики (ВАХ). Приборы серии B2900A также поддерживают измерение как низкого, так и высокого сопротивления. Это превращает источник/измеритель B2900A в идеальное решение для точного измерения характеристик резисторов и других электронных компонентов.

Точное определение сопротивления является одной из наиболее сложных задач метрологии. На точность измерения сопротивления могут влиять многие факторы, включая собственное сопротивление измерительного кабеля, термо-ЭДС и токи утечки в измерительном тракте. Приборы серии B2900A обладают рядом функций для решения этой измерительной задачи, включая измерение по 4-проводной схеме, компенсацию смещения и функцию «guard-экран». Все они будут подробно описаны в данном документе.

## Что такое источник/измеритель серии B2900A?

Источник/измеритель объединяет в одном приборе функции источника тока, источника напряжения, амперметра и вольтметра с возможностью быстрого и простого выбора любой из этих функций (см. рис. 1). Он позволяет измерять вольт-амперные характеристики тестируемого устройства в четырех квадрантах без дополнительного оборудования. Помимо возможности очень точного измерения выходных напряжений и токов, источник/измеритель обеспечивает функцию совместимости, ограничивающую значения напряжения и тока с целью предотвращения повреждения тестируемого устройства. Приборы серии B2900A представляют собой одно- или двухканальные источники/измерители с широкими возможностями измерения ВАХ компонентов с двумя и тремя выводами. Они покрывают диапазон токов от 10 фА до 3 А (пост.)/10,5 А (имп.) и напряжений от 100 нВ до 210 В. В дополнение к режиму измерений по постоянному току, приборы серии B2900A могут выполнять импульсные измерения для предотвращения самонагрева тестируемого устройства, искажающего результаты измерений. И наконец, приборы серии B2900A имеют встроенную функцию измерения сопротивления.

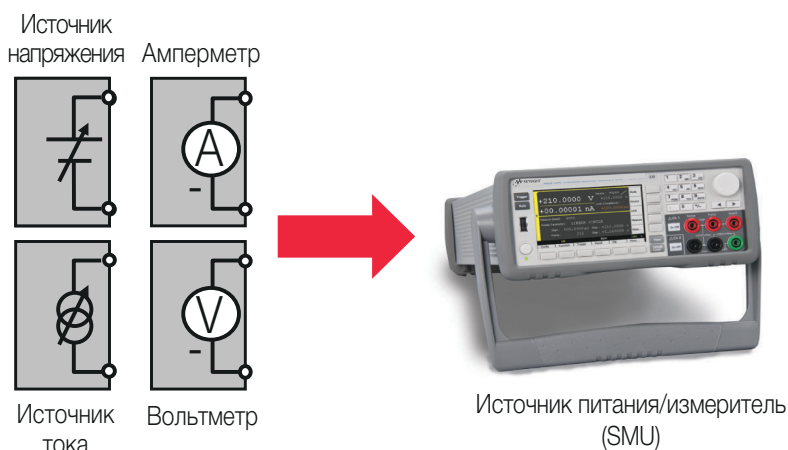


Рис. 1. Источники/измерители серии B2900A объединяют четыре измерительные функции в одном приборе

## Лучшее решение для измерения сопротивления

Источники/измерители серии B2900A с их встроенными функциями источника тока и напряжения и широкими измерительными возможностями превосходно подходят для точного измерения сопротивления. Кроме того, они обладают рядом специальных встроенных функций, повышающих точность измерений, которые будут подробно описаны в настоящем документе.

### Устранение влияния собственного сопротивления

Наиболее часто сопротивление измеряют с использованием обычной 2-проводной схемы. В ней (см. рис. 2а) для подачи тока от источника и передачи измеряемого напряжения используется одна и та же пара проводов. Такая схема подходит для измерения сопротивления в случае, когда собственное сопротивление провода ничтожно мало по сравнению с сопротивлением тестируемого устройства (ТУ).

Однако если измеряют очень низкое сопротивление, когда собственное сопротивление провода сопоставимо с сопротивлением ТУ, то результат измерения будет ошибочным (см. рис. 2б). Для устранения этой ошибки используют 4-проводную измерительную схему. В ней одна пара проводов используется для подачи тока, а вторая – для измерения напряжения. При этом падение напряжения на измерительных кабелях полностью исключается из результатов измерения, и измеряется только падение напряжения на ТУ (см. рис. 2в). В дополнение к этому, прибор серии B2900A, работающий по 4-проводной схеме, точно поддерживает заданное напряжение  $V_{уст.}$  между точками А и В (рис. 2в), тем самым гарантируя, что сопротивление ТУ будет измерено в точно указанных условиях. Источники/измерители серии B2900A поддерживают обе измерительные схемы и могут легко переключаться между ними.

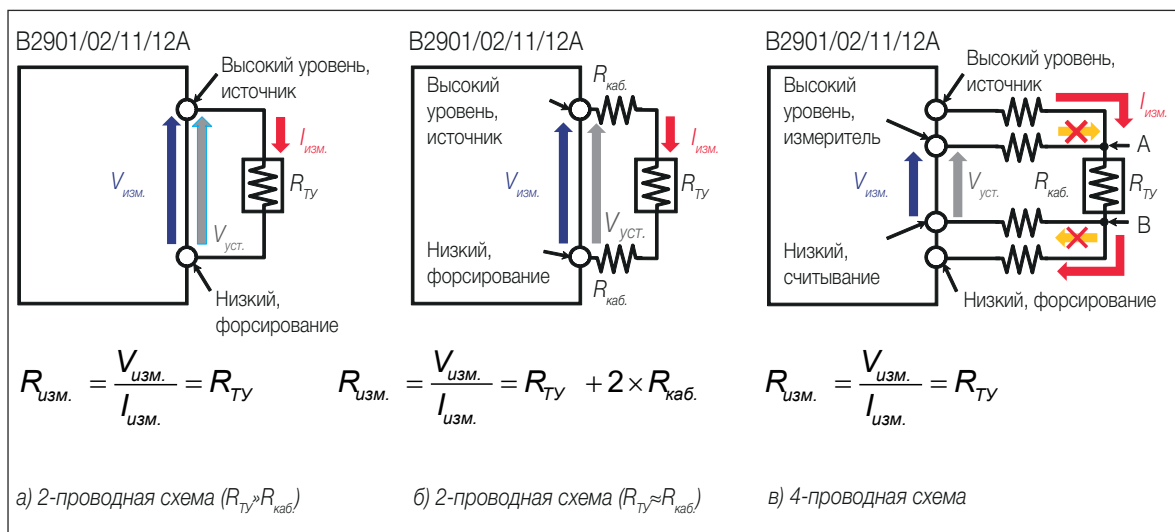


Рис. 2. 4-проводная схема устраняет погрешность измерения, вызванную собственным сопротивлением измерительного кабеля

## Компенсация смещения

Погрешность измерения малых сопротивлений может быть вызвана напряжением смещения, присущим прибору, а также термо-ЭДС, возникающей при замыкании электромеханических (герконовых) реле в выходной цепи источника/измерителя. Эквивалентная схема этих эффектов показана на рис. 3а. Поскольку при измерении низкого сопротивления падение напряжения на ТУмало, то влиянием напряжения смещения и термо-ЭДС можно пренебречь (см. рис. 3б). Однако, используя функцию компенсации сопротивления, прибор серии B2900A автоматически выполнит измерение в двух точках и вычислит истинное значение сопротивления по следующей формуле.

$$R_{\text{комп.}} = \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1}$$

где:

$V_1$  – измеренное напряжение, когда на источнике было установлено 0 В (режим подачи напряжения) или 0 А (режим подачи тока).

$V_2$  – это измеренное напряжение, когда на источнике было установлено  $V_f$  (режим подачи напряжения) или  $I_f$  (режим подачи тока).

$I_1$  – измеренный ток, когда на источнике было установлено 0 В (режим подачи напряжения) или 0 А (режим подачи тока).

$I_2$  – измеренный ток, когда на источнике было установлено  $V_f$  (режим подачи напряжения) или  $I_f$  (режим подачи тока).

Благодаря встроенной функции двухточечного измерения, приборы серии B2900A позволяют легко устранить влияние напряжений смещения на измерение сопротивления (см. рис. 3в).

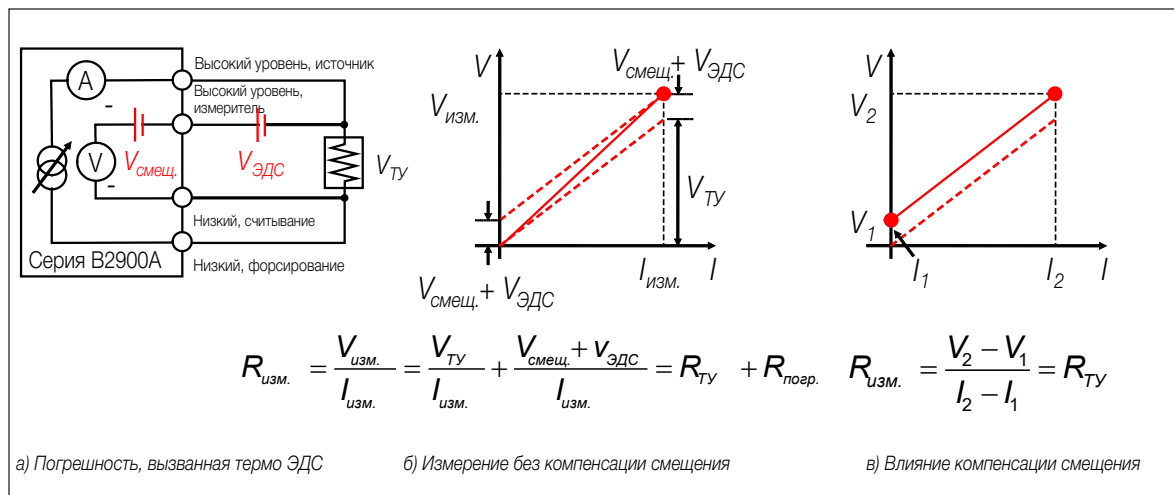


Рис. 3. Источники/измерители серии B2900A имеют функцию компенсации, автоматически устраняющую влияния напряжений смещения и термо-ЭДС

## Предотвращение токов утечки

Токи утечки в кабелях и тестовой оснастке могут вызвать значительную погрешность, особенно при измерении больших сопротивлений, когда измерительный ток очень мал (меньше наноампера). На этот случай в приборах серии B2900A предусмотрена функция «guard-экран», реализованная с помощью переходников «банан-триаксиальный кабель» и триаксиальных кабелей. В схеме источника/измерителя имеется вывод guard-экрана, имеющий такой же потенциал, как вывод высокого уровня измерителя. Это предотвращает прохождение тока утечки в кабель и далее в измерительный тракт (см. рис. 4).

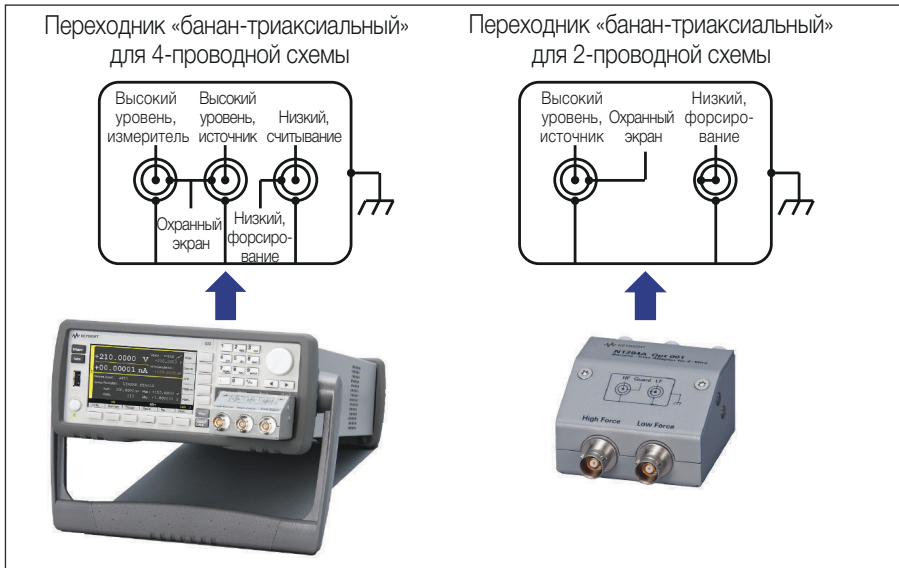


Рис. 4. Активный guard-экран источника/измерителя серии B2900A устраняет токи утечки при использовании соответствующих триаксиальных разъемов и кабелей

## Мощный графический интерфейс и поддержка пользовательских программ

Широкий ЖК дисплей QVGA приборов серии B2900A отображает удобный графический интерфейс пользователя, упрощающий управление прибором с передней панели. Благодаря ему легко выполнять как одиночные измерения сопротивления на постоянном напряжении, так и свипирующие измерения для построения ВАХ. По завершении измерений полученные данные можно просмотреть на дисплее прибора в виде кривой ВАХ в режиме графического обзора Graph View или в виде списка результатов измерений в диалоговом окне Measure Result (рис. 5).

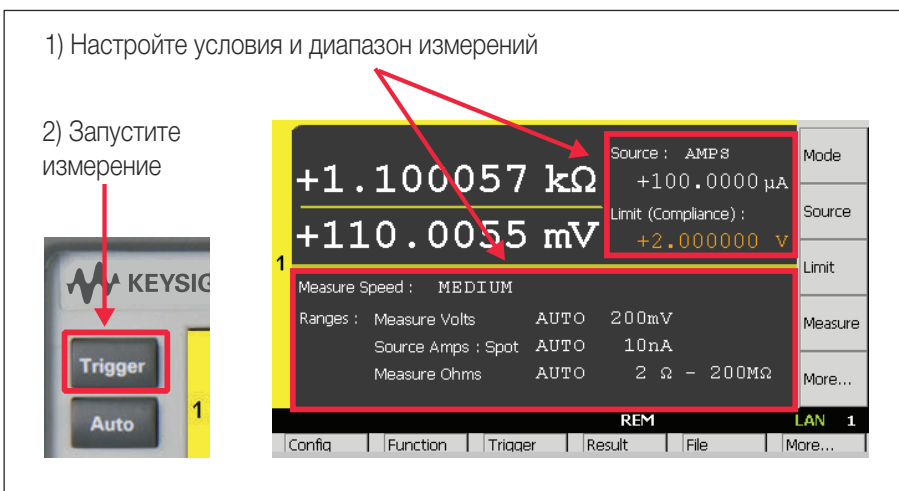


Рис. 5. Графический интерфейс пользователя источника/измерителя серии B2900A облегчает выполнение быстрых измерений

Для дистанционного управления источником/измерителем серии B2900A доступны драйверы набора стандартных команд для программируемых приборов (SCPI) иIVI-COM. Программное обеспечение Quick I/V Measurement Software для быстрого измерения ВАХ прибором серии B2900A можно бесплатно загрузить с сайта компании Keysight. Также доступен графический веб-интерфейс B2900A, обеспечивающий доступ к прибору через соединение по локальной сети. Источники/измерители серии B2900A полностью соответствуют спецификации LXI Class C, что облегчает выполнение измерений через стандартный веб-браузер при подключении прибора к ПК сетевым кабелем.

## Бесплатные опции программного управления

В дополнение к удобному графическому интерфейсу предусмотрен ряд бесплатных опций программного управления, облегчающих составление программ для выполнения измерений с ПК.

### ПО BenchVue

Программное обеспечение Keysight BenchVue заставляет по-новому взглянуть на стендовые испытания, упрощая подключение и управление приборами без необходимости программирования. Вы можете быстро и легко получать результаты, просматривая, регистрируя и экспортируя полученные данные и изображения на экране всего несколькими щелчками мыши. ПО BenchVue предоставляет широкий ряд возможностей в зависимости от выбранной измерительной задачи. Они различаются в зависимости от типа и модели прибора, в том числе источника/измерителя серии B2900A, подключенного к ПК, на котором работает ПО BenchVue. Для получения более подробной информации перейдите по ссылке <http://www.keysight.com/find/benchvue>.



Рис.6. ПО BenchVue

## Графический веб-интерфейс

Графический веб-интерфейс Keysight B2900A обеспечивает доступ к источнику/измерителю серии B2900A через соединение по локальной сети. Приборы серии B2900A полностью соответствуют спецификации LXI Class C и имеют встроенный веб-сервер, позволяющий управлять основными измерительными функциями с веб-страницы. Вы можете легко и быстро выполнять измерения с помощью стандартного веб-браузера, просто подключив прибор серии B2900A к ПК сетевым кабелем.

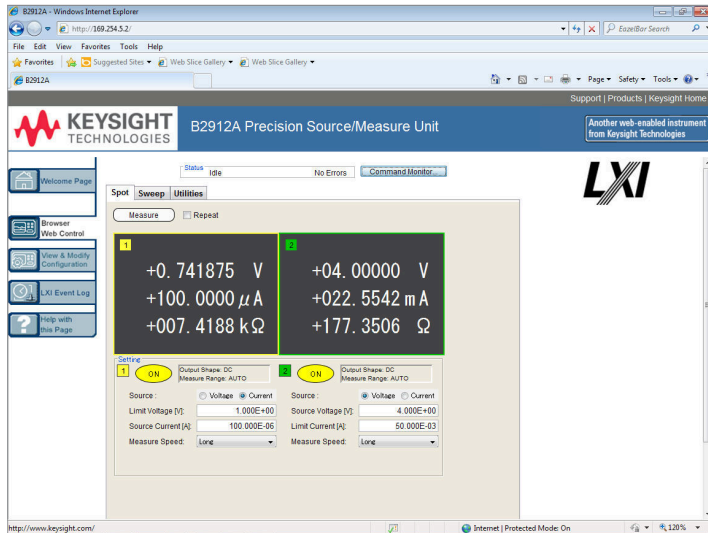


Рис.7. Графический веб-интерфейс

## ПО Quick I/V Measurement для быстрых измерений ВАХ

B2900A Quick I/V Measurement Software является общим программным обеспечением для всей серии источников/измерителей серии B2900. Данное ПО обеспечивает расширенные функции управления измерениями через интерфейсы GPIB, USB или LAN (см. рис. 8). Вы можете загрузить данное ПО для ПК бесплатно по ссылке <http://www.keysight.com/find/quickiv>. ПО Keysight B2900A Quick I/V Measurement Software поддерживает различные свигирующие измерения, измерения с выборкой, базовые математические функции, возможности графического отображения, а также сохранение результатов измерения в виде файлов CSV.

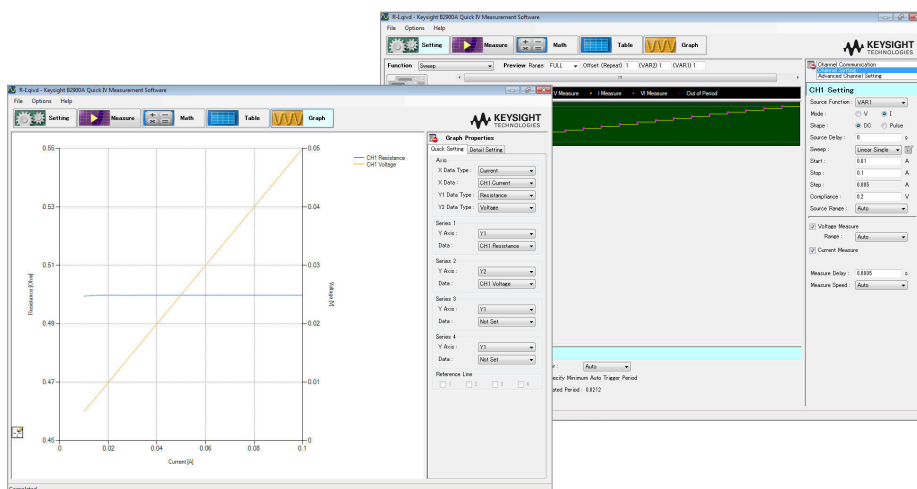


Рис. 8. ПО Quick I/V Measurement обеспечивает быстрые измерения ВАХ при управлении прибором серии B2900A с ПК



## ПО EasyEXPERT group+

Программное обеспечение EasyEXPERT group+ является мощным инструментом для детального исследования и анализа устройств, схем и материалов. Оно поддерживает эффективный и воспроизводимый процесс измерений, начиная с их настройки и выполнения, и заканчивая анализом результатов и представлением данных. ПО EasyEXPERT group+ не только облегчает выполнение стандартных измерений характеристик за счет готовых прикладных функций, но и позволяет автоматически запоминать условия тестирования и полученные результаты во встроенной базе данных после каждого измерения. В результате исключается потеря важной информации и появляется возможность повторного выполнения измерений с теми же настройками. Для получения более подробной информации перейдите по ссылке <http://www.keysight.com/find/easyexpert>.

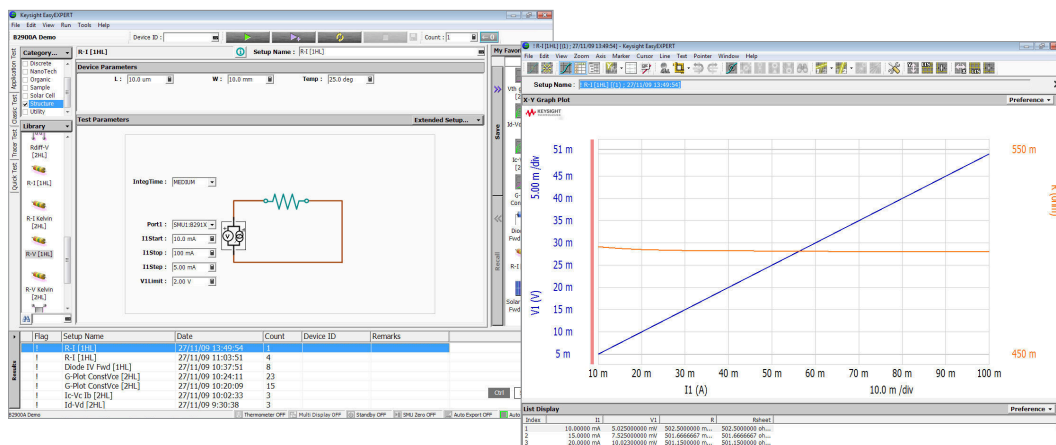


Рис. 9. Программное обеспечение EasyEXPERT group+ является мощным инструментом для детального исследования и анализа устройств, схем и материалов

## Заключение

Источник/измеритель Keysight B2901/02/11/12A является наилучшим решением для измерения ВАХ резисторов и многих других компонентов. Приборы серии B2900A имеют ряд встроенных функций, облегчающих выполнение точных измерений сопротивления, среди которых поддержка 4-проводной схемы, компенсация напряжения смещения и активный guard-экран. Простой в использовании графический интерфейс обеспечивает быстрое и удобное управление прибором с передней панели. Дистанционное управление с ПК осуществляется через порты GPIB, USB и LAN.

Для этого компания Keysight предлагает ряд бесплатных опций программного управления, облегчающих составление программ для выполнения измерений с ПК.

Более подробная информация о моделях источников/измерителей серии B2900A приведена в соответствующем техническом описании (5990-7009EN).

Серия B2900A позволяет быстро отлаживать и точно исследовать широкий спектр устройств с помощью всего одного настольного прибора.

### Серия прецизионных приборов B2900

Серия B2900 объединяет приборы, выполняющие функции прецизионных источников и измерителей.

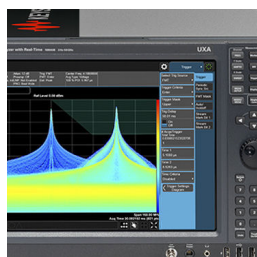
[www.Keysight.com/find/b2900a](http://www.Keysight.com/find/b2900a)



## Развиваемся с 1939 года

Уникальное сочетание наших приборов, программного обеспечения, услуг, знаний и опыта наших инженеров поможет вам воплотить в жизнь новые идеи. Мы открываем двери в мир технологий будущего.

От Hewlett-Packard и Agilent к Keysight.



Для получения дополнительных сведений о продукции, приложениях и услугах Keysight Technologies обратитесь в местное представительство компании Keysight. Полный перечень представительств приведен на сайте:

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

### myKeysight

myKeysight

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

Индивидуальная подборка наиболее важной для вас информации.

[http://www.keysight.com/find/emt\\_product\\_registration](http://www.keysight.com/find/emt_product_registration)

Зарегистрировав свои приборы, вы получите доступ к информации о состоянии гарантии и уведомления о выходе новых публикаций по приборам.



Услуги ЦСМ Keysight

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

Центр сервиса и метрологии Keysight готов предложить вам свою помощь на любой стадии эксплуатации средств измерений – от планирования и приобретения новых приборов до модернизации устаревшего оборудования. Широкий спектр услуг ЦСМ Keysight включает услуги по проверке и калибровке СИ, ремонту приборов и модернизации устаревшего оборудования, решения для управления парком приборов, консалтинг, обучение и многое другое, что поможет вам повысить качество ваших разработок и снизить затраты.



Планы технической поддержки Keysight

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

ЦСМ Keysight предлагает разнообразные планы технической поддержки, которые гарантируют, что ваше оборудование будет работать в соответствии с заявленной производителем спецификацией, а вы будете уверены в точности своих измерений.

Торговые партнеры Keysight

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

Получите лучшее из двух миров: глубокие профессиональные знания в области измерений и широкий ассортимент решений компании Keysight в сочетании с удобствами, предоставляемыми торговыми партнерами.