
PROTEK 9216A

цифровой измеритель LCR

РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

Часть 1

Основные сведения

Содержание

Глава 1. Введение.....	3
Гарантийные обязательства	3
Общие меры безопасности	4
Предотвращение травматизма	4
Предотвращение повреждения прибора	5
Обслуживание, ремонт и хранение	5
Эксплуатация прибора	5
Требования к сетевому напряжению	5
Требования к предохранителю	6
Правила принятые в данном руководстве.....	6
Предупреждающие надписи	7
Глава 2. Знакомство с прибором.....	8
Элементы передней панели	8
Входные разъемы прибора.....	8
Кнопки выбора режима измерения (PARAMETER).....	9
Алфавитно-цифровые дисплеи и индикаторы параметров.....	10
Кнопки управления и программирования прибора	10
Элементы задней панели	13
Характеристики.....	14
Режимы измерения и отображаемые параметры	14
Условия измерения	14
Погрешность измерения.....	15
Возможности прибора и дополнительное оборудование	16
Возможности и общие характеристики.....	16
Дополнительное оборудование.....	16
Глава 3. Инструкция по эксплуатации.....	17
Начало работы с измерителем LCR	17
Распаковка и проверка	17
Размещение прибора	17
Процедуры настройки	18
Перед включением прибора	18
Перед использованием фиксаторов компонентов	18
Дополнительные фиксаторы	18
Процедура калибровки нуля.....	19

Выбор и изменение настроек.....	19
Начальные настройки производителя.....	20
Изменение, сохранение в памяти и загрузка настроек пользователя.....	21
Режим измерения	21
Частота	21
Выходное напряжение	22
Электрическое смещение	23
Скорость измерения	25
Время задержки	26
Запуск	27
Сохранение и загрузка	27
Диапазоны измерения	28
Последовательные и параллельные эквивалентные схемы	31
Режимы отображения дисплея	31

Введение

Важная вводная информация

Цифровой измеритель LCR PROTEK 9216A является высококачественным прибором, который прослужит Вам многие годы. Прежде чем включать прибор в сеть и приступить к его эксплуатации, пожалуйста, ознакомьтесь с информацией, содержащейся в данной главе. Информация о работе прибора и его использованию приведена в последующих главах.

Гарантийные обязательства

Компания PROTEK гарантирует отсутствие дефектов материалов и изготовления данного прибора в течение года со дня приобретения. Если в течение этого гарантийного периода какой-либо прибор будет признан дефектным, компания PROTEK на свое усмотрение произведет его бесплатный ремонт или замену.

Для того чтобы получить обслуживание по данной гарантии, покупателю прибора следует известить компанию PROTEK о выявленном дефекте до момента истечения срока гарантии, а также провести определенные мероприятия для осуществления обслуживания. Покупатель является ответственным за упаковку и транспортировку дефектного изделия с предоплатой услуг по доставке в указанный компания PROTEK сервисный центр. Компания PROTEK возьмет на себя расходы по возврату прибора покупателю, если доставка будет осуществляться в пределах страны нахождения сервисного центра PROTEK. Покупатель обязан осуществить оплату услуг по доставке, выплату налогов, пошлин и других издержек при доставке в другие точки.

Данные гарантийные обязательства не распространяются на дефекты, повреждения и поломки, вызванные неправильным использованием, обслуживанием, или транспортировкой прибора. Гарантийные обязательства компании PROTEK не предполагают следующего:

- устранение неполадок, вызванных попыткой служащих, не являющихся представителями PROTEK, устанавливать, ремонтировать или осуществлять сервисное обслуживание прибора;
- ремонт повреждений, возникших в результате неправильного использования прибора или подключения к нему несовместимого оборудования;
- обслуживание прибора, который был модифицирован или интегрирован с другими приборами, что вызвало увеличение затрат времени на обслуживание или усложнило его.

Данная гарантия компании PROTEK в отношении этого прибора заменяет все прочие гарантии, опубликованные или предполагаемые. Компания PROTEK и ее торговые представители не дают никаких гарантийных обязательств в отношении своих изделий по поводу товарной пригодности или пригодности для специального использования.

Главной и единственной мерой ответственности компании PROTEK перед потребителем при гарантийном случае является ремонт или замена дефектной продукции. Компания PROTEK и ее торговые представители не несут ответственности за любые косвенные, случайные или фактические, определяемые обстоятельства, убытки, даже если компания PROTEK или ее торговые представители не предупреждали о возможности таких повреждений.

Общие меры безопасности

Во избежание получения травм, или повреждения самого прибора, а также других, электрически связанных с ним приборов ознакомьтесь с информацией о мерах техники безопасности.

ЗАМЕЧАНИЕ: обслуживание прибора должен осуществлять только квалифицированный специалист.

Предотвращение травматизма

Используйте специальный шнур питания. Во избежание электрошока используйте только шнур питания, предназначенный для данного прибора.

Избегайте электрической перегрузки. Во избежание электрошока или возгорания не прикладывайте к разъему прибора напряжение, выходящее за рамки заявленного для него диапазона.

Заземляйте прибор. Данный прибор заземлен посредством заземляющего провода шнура питания. Во избежание электрошока заземляющий провод должен быть соединен с заземлением. Перед тем как произвести подключение к входным или выходным разъемам прибора, убедитесь, что прибор должным образом заземлен.

Не допускается работа с прибором без крышек корпуса. Во избежание электрошока или возгорания не допускается использовать прибор без крышек или панелей корпуса.

Используйте требуемый предохранитель. Во избежание электрошока используйте только предохранитель, тип и номинал которого удовлетворяют требованиям данного прибора.

Не допускается использовать прибор во влажных или сырых условиях. Во избежание электрошока не допускается работать с прибором в условиях повышенной влажности или сырости.

Не допускается использовать прибор во взрывоопасной атмосфере. Во избежание травм или возгорания не допускается работать с прибором во взрывоопасной атмосфере.

Поддерживайте чистоту поверхности щупов. Во избежание электрошока или ошибочных показаний не допускайте загрязнения поверхности щупов.

Предотвращение повреждения прибора

Обслуживание, ремонт и хранение

Данный прибор содержит множество высокоточных компонентов и компоненты под высоким давлением. Транспортировка прибора требует особой осторожности.

Периодически при загрязнении панелей прибора слегка протрите загрязненную поверхность мягкой тканью, смоченной раствором мягкого нейтрального моющего средства или спиртом. Не допускается использовать при чистке особо летучие вещества, например, бензол или растворители для краски.

Оптимальная температура окружающей среды при хранении данного оборудования составляет от -10°C до $+60^{\circ}\text{C}$ (от 14°F до 140°F).

Во избежание травм не снимайте крышки прибора. Не допускается использовать прибор без установленных соответствующим образом крышек или панелей корпуса.

Вместе с прибором поставляются два запасных предохранителя.

Для поддержания данного прибора в стабильном и эффективном рабочем состоянии регулярно производите его поверку и калибровку через каждые 1000 часов работы или 6 месяцев в зависимости, что наступит раньше.

Эксплуатация прибора

Правильно организуйте питание прибора. Не подключайте данный прибор к источнику питания с напряжением, превышающим значение, указанное в характеристиках прибора.

Обеспечьте соответствующую вентиляцию. Во избежание перегрева прибора обеспечивайте соответствующую вентиляцию.

Не работайте с прибором при сомнении в его исправности. Если Вы подозреваете, что прибор неисправен, прекратите его эксплуатацию до проверки квалифицированным специалистом.

Не погружайте в жидкости. Чистку щупов производите, только используя влажную ткань. Обратитесь к указаниям по чистке.

Требования к сетевому напряжению

Диапазоны рабочих напряжений для питания данного измерителя LCR приведены в нижеследующей таблице. Проверьте сетевое напряжение до подключения прибора к сети и убедитесь, что оно соответствует приведенному ниже диапазону.

Номинал	Рабочий диапазон напряжения
~115В	~98В ÷ 132В
~230В	~196В ÷ 253В

Если Вы собираетесь использовать данный измеритель при напряжении отличном от ~230В, то необходимо подготовить прибор следующим образом:

- отсоедините шнур питания от разъема прибора;

- вставьте отвертку с плоским концом в выемку, расположенную с правой стороны крышки держателя предохранителя, затем снимите крышку, поддев ее отверткой;
- разверните крышку держателя предохранителя в положение соответствующее требуемому напряжению;
- вставьте разъем шнура питания в разъем прибора.

Если требуется питание прибора при напряжении ниже 115В переменного тока, возможно, потребуется замена шнура питания и предохранителя. В этом случае обратитесь за помощью к ближайшему торговому представителю компании PROTEK.

После завершения работы с прибором отсоедините шнур питания от сетевой розетки.

Требования к предохранителю

Для предотвращения перегрузки по току схемы прибора используйте соответствующий предохранитель. Предохранитель должен иметь следующие характеристики.

Обозначение	Размер (диаметр × длина) мм	Характеристика	Примечания
F1101	5.2 × 20	250В/500мА	для ~115В
		250В/250мА	для ~230В
F601	5.2 × 20	250В/250мА	

Внутренний предохранитель имеет следующие характеристики.

Обозначение	Размер (диаметр × длина) мм	Характеристика	Примечания
F602	5.2 × 20	250В/250мА	

Замечание: для замены внутреннего предохранителя обратитесь к инструкциям раздела об устранении неисправностей.

Правила принятые в данном руководстве

В данном руководстве Вы найдете различные процедуры, содержащие пошаговые инструкции для ваших действий. Для ясного понимания последовательности выполнения этих процедур в данном руководстве использованы следующие правила:

- процедуры управления и соответствующие им наименования элементов управления передней панели выделены заглавными буквами и жирным шрифтом;
- наименование элементов управления в руководстве полностью соответствует их маркировке на приборе (начальные или заглавные буквы);
- шаги инструкций пронумерованы (1, 2, 3, ...), за исключением случаев с единственным шагом;
- если при пошаговом выполнении инструкции требуется осуществление последовательности нажатия кнопок или активация определенного светодиодного индикатора, то в тексте используется стрелка (→);

наименование кнопок и светодиодных индикаторов совпадает с их маркировкой на передней панели измерителя,

например, **DISP** → **(Entry)** → **ENTER**.

Предупреждающие надписи

Термины, используемые в этом руководстве, имеют следующие значения:

- **WARNING** (ОСТОРОЖНО!) указывает на условия или действия, в результате которых возможно получение травмы;
- **CAUTION** (ВНИМАНИЕ!) указывает на условия или действия, в результате которых возможно повреждение прибора или другого оборудования.
- **NOTICE** (ЗАМЕЧАНИЕ) указывает на условия или действия, в результате которых возможно получение неверного результата измерения.

Знакомство с прибором

Описание измерителя LCR и его особенностей

В данной главе описаны элементы управления и коммутации измерителя LCR, обобщенные технические характеристики, особенности и возможности прибора и дополнительного оборудования.

Элементы передней панели

Передняя панель, а также расположенные на ней дисплеи, элементы управления и коммутации показаны на следующем рисунке.



Сначала приводится описание разъемов, элементов управления и дисплеев, расположенных на передней панели слева, а затем описываются многочисленные кнопки, расположенные справа.

Входные разъемы прибора

Входные разъемы прибора, имеющие обозначение IL, PL, PH и IH, предназначены для подключения фиксаторов компонентов или адаптера к прибору, о чем будет изложено далее в главе 3, разделе “Дополнительные фиксаторы” в части 1 настоящего руководства. Два из разъемов служат для подключения источника тока к тестируемому устройству, а два других являются высокоимпедансным входом для измерения напряжения и подключаются параллельно тестируемому устройству. Такая четырехпроводная схема подключения (схема “Кельвина”) предназначена для увеличения точности измерения за счет снижения влияния тока на проводники измерения напряжения.

ОСТОРОЖНО! Не допускается подключать к этим разъемам прибора источники напряжения, особенно высоковольтные.

Кнопки выбора режима измерения (PARAMETER)

Данные кнопки позволяют выбирать для тестируемого компонента режим измерения. Возможен выбор одного из пяти режимов измерения: AUTO, R+Q, L+Q, C+D или C+R. Выбранный режим индицируется одним из светодиодов, находящихся над алфавитно-цифровыми дисплеями. Работу режимов можно пояснить следующим образом.

- **AUTO (автоматический)** при этом режиме прибор автоматически выбирает измерение наиболее подходящее для тестируемого устройства. Выбор осуществляется согласно следующим критериям:
 - если $|Q| < 0.125$, прибор выбирает режим измерения R+Q;
 - если $Q > 0.125$, прибор выбирает режим измерения L+Q;
 - если $Q < -0.125$ и прибор находится в режиме измерения для последовательной эквивалентной схемы, выбирается режим измерения C+R;
 - если $Q < -0.125$ и прибор находится в режиме измерения для параллельной эквивалентной схемы, выбирается режим измерения C+D.
- **R+Q** при этом режиме значение сопротивления отображается на дисплее основного параметра, а значение добротности Q отображается на дисплее дополнительного параметра. Значение R является либо последовательным, либо параллельным эквивалентным сопротивлением тестируемого устройства (единицы измерения R – Ом (Ω), кОм ($k\Omega$) или МОм ($M\Omega$)). Значение добротности Q – это безразмерная величина равная отношению мнимой составляющей импеданса устройства к его активной составляющей. Если Q имеет положительное значение (+), то реактивная составляющая тестируемого устройства является индуктивной. Если Q имеет отрицательное значение (–), то реактивная составляющая является емкостной.
- **L+Q** при этом режиме значение последовательной или параллельной эквивалентной индуктивности тестируемого устройства отображается на дисплее основного параметра (единицы измерения индуктивности – мкГн (μH), мГн (mH) или Гн (H)), а безразмерное значение добротности Q отображается на дисплее дополнительного параметра.
- **C+D** при этом режиме значение последовательной или параллельной эквивалентной емкости тестируемого устройства отображается на дисплее основного параметра (единицы измерения емкости – пФ (pF), нФ (nF) или мкФ (μF)), а на дисплее дополнительного параметра отображается тангенс угла потерь $D = 1/Q$. Значение параметра D для исправного конденсатора, как правило, очень мало.
- **C+R** при этом режиме значение емкости отображается на дисплее основного параметра, а значение эквивалентного сопротивления отображается на дисплее дополнительного параметра. Кроме того, обратите внимание, что при этом режиме негорящий индикатор **k Ω** означает, размерность сопротивления – Ом.

Алфавитно-цифровые дисплеи и индикаторы параметров

Два пятиразрядных (дополнительно знак) семисегментных светодиодных алфавитно-цифровых дисплея обеспечивают отображение результатов измерения, значений вводимых параметров и сообщений о состоянии прибора. Левый дисплей отображает значение основного параметра тестируемого компонента (L, R, C), а правый дисплей отображает значение его дополнительного параметра (Q, D, R, %). Над этими двумя алфавитно-цифровыми дисплеями, а также рядом с ними располагаются различные светодиодные индикаторы, свечение которых индицирует определенную информацию об измерении:

■ AUTO, R, L, C, %	индикаторы, обозначающие тип основного параметра измерения;
■ Q, D, R, %	индикаторы, обозначающие тип дополнительного параметра измерения;
■ Ω, kΩ, MΩ μH, mH, H pF, nF, μF	индикаторы, обозначающие единицы размерности значения на левом дисплее;
■ kΩ	индикатор, обозначающий единицу размерности k Ω значения на правом дисплее; отсутствие свечения этого индикатора означает, что правый дисплей отображает безразмерное значение или что размерность значения, отображаемого на правом дисплее – Ом;
■ REM, ACT, ERR	данные индикаторы дают информацию о состоянии интерфейса дистанционного управления (через компьютер);
REM	показывает, что прибор управляется дистанционно через интерфейс, разъем которого расположен на задней панели измерителя LCR;
ACT	показывает, что интерфейс дистанционного управления активен;
ERR	извещает об ошибке команды дистанционного управления;
■ OM, +LIM, –LIM	показывают, какой параметр для режима сортировки электронных компонентов [1] вводится в данный момент.

Кнопки управления и программирования прибора

Справа на передней панели измерителя LCR располагаются кнопки для программирования режима измерения и общего управления прибором. Эти кнопки сгруппированы в зонах по функциям, а некоторые из зон имеют связанные с ними светодиодные индикаторы, показывающие текущий выбор.

- **Зона выбора частоты (FREQUENCY)** PROTEK 9216A имеет возможность выбора пяти фиксированных частот с погрешностью не более 100 промилле (0.01%). Частоту 100Гц, 120Гц, 1кГц, 10кГц или 100кГц можно выбрать нажатием кнопок [↑] или [↓], расположенных на передней панели в зоне выбора частоты до зажигания соответствующего светодиодного индикатора.

¹ Режим сортировки электронных компонентов будет описан в этом руководстве далее.

■ Зона выбора тестового напряжения (DRIVE VOLT)

- **Кнопка VOLT** эта кнопка осуществляет циклический выбор трех фиксированных величин тестового напряжения: 0.1 В, 0.25 В и 1.0 В. Светодиодные индикаторы указывают выбранную величину выходного тестового напряжения. Если ни один светодиодный индикатор не горит, то это означает, что выходное тестовое напряжение отлично от фиксированных значений.
- **Кнопка CONS** эта кнопка переводит прибор в режим постоянного напряжения (не путайте с напряжением постоянного тока).

■ Зона выбора напряжения смещения (BIAS) Режим **BIAS** применяется только при измерении емкости. Использование кнопок этой зоны для любого другого измерения вызовет следующее сообщение об ошибке: "bias for c".

- **Кнопка INT** включает или выключает подачу напряжения смещения 2.0 В постоянного тока от внутреннего источника.
- **Кнопка EXT** включает или выключает подачу напряжения смещения от внешнего источника постоянного тока.

■ Зона выбора скорость измерения (MEAS RATE)

- Кнопка **RATE** позволяет выбрать скорость измерения. При частоте в 1кГц и более можно выбрать низкую (SLOW) (2 измерения в секунду), среднюю (MED) (10 измерений в секунду) и высокую (FAST) (20 измерений в секунду) скорость измерения.

■ Зона выбора режима отображения дисплея (DISPLAY)

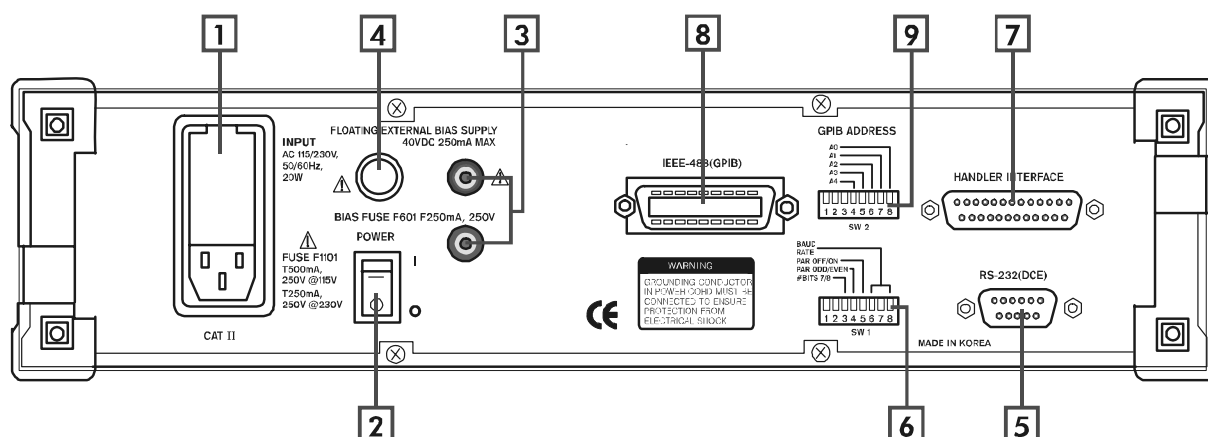
- **Кнопка AVR** включает режим отображения усредненного значения от 2 до 20 измерений. Число измерений для усреднения вводится с помощью цифровых кнопок.
- **Кнопка HOLD** фиксирует текущий диапазон измерения прибора. При повторном нажатии этой кнопки прибор возвращается в режим автовыбора диапазона. Определенный диапазон может также быть выбран вводом с помощью цифровых кнопок.
- **Кнопка EQU** позволяет выбрать последовательную или параллельную эквивалентную схему для исследуемого компонента.
- **Кнопка DISP** осуществляет выбор отображаемого параметра. Возможен выбор следующих отображаемых параметров:
 - **Индикатор VALUE** обозначает отображение измеренного для исследуемого устройства параметра.
 - **Индикатор DEV** обозначает отображение отклонения от предварительно введенного значения.
 - **Индикатор %DEV** обозначает отображение процентного отклонения от предварительно введенного значения.
 - **Индикатор ENTRY** обозначает ввод значений параметров.
 - **Индикатор BINS** обозначает выбор номера корзины при работе прибора в режиме сортировки компонентов.

Замечание: отображение значений на дисплее не будет происходить, если не введены соответствующие данные. Например, отклонение DEV или процентное отклонение %DEV от предварительно введенного значения не будут отображаться, если не было введено номинальное значение. Также режим сортировки BINS не будет действовать, если предварительно не введены параметры для сортировки.

- **Кнопка [←]** используется для исправления ошибок при вводе числовых данных. Кроме того, с помощью этой кнопки можно отключить с передней панели прибора режим дистанционного управления и разблокировать тем самым остальные кнопки передней панели.
- **Кнопки [0]...[9]** цифровые кнопки используются для ввода параметров, эти кнопки активны, только когда прибор находится в режиме ввода.
- **Зона кнопок ввода (ENTER): [Ω μH pF], [kΩ mH nF], [ENTER MΩ H μF]** эти три кнопки используются для завершения ввода числовых параметров (например, значений R, L, C). Самая нижняя базовая кнопка **[ENTER MΩ H μF]** может быть использована для ввода параметров, размерность которых не приведена на этих трех кнопках, например, проценты % и т.п.
- **Зона настроек (SETUP)**
 - **Кнопки STO, RCL** PROTEK 9216A позволяет сохранять в памяти до девяти вариантов настроек. Для сохранения текущей конфигурации в ячейке памяти с номером #n нажмите **STO → [n] → ENTER**. Для загрузки настроек нажмите **RCL → [n] → ENTER**.
 - **Кнопка CAL** эта кнопка позволяет производить ряд операций по калибровке, включая калибровки нуля для закороченной и разомкнутой цепи, частоты, амплитуды тестового выходного сигнала, а также внутреннюю самопроверку.
 - **Кнопки BIN#, NOM, LIM** эти кнопки используются для ввода параметров режима сортировки электронных компонентов. Светодиодный индикатор **BINNING** загорается при включении режима сортировки и активном дополнительном интерфейсе сортировочного устройства.
- **Зона управления запуском (TRIGGER)**
 - **Кнопка MODE** эта кнопка осуществляет переключение между автоматическим (**CONT**) и ждущим (**TRIGGERED**) режимами запуска процесса измерения.
 - **Кнопка TRIG** эта кнопка осуществляет запуск процесса измерения при ждущем режиме запуска (**TRIGGERED**), помимо этой кнопки запуск при этом режиме может осуществляться через команды интерфейса сортировочного устройства или компьютерных интерфейсов. Процесс измерения индицируется миганием светодиодного индикатора **TRIG**.

Элементы задней панели

Задняя панель, а также расположенные на ней элементы управления и коммутации, показаны на следующем рисунке.



- [1] Модуль разъема для подключения шнура питания прибора от сети переменного тока. Предохранитель и переключатель выбора напряжения сети питания расположены в корпусе модуля.
- [2] Клавишный выключатель для включения и выключения питания прибора.
- [3] Два входных гнезда для подключения внешнего источника постоянного тока напряжения смещения. Выход источника должен быть плавающим относительно земли и иметь хорошую фильтрацию выходного сигнала. Ни одно из входных гнезд для подключения внешнего источника не должно иметь контакта с землей.
- [4] Плавкий предохранитель защиты входа для внешнего источника напряжения смещения, защищающий внутренние цепи смещения от тока превышающего 250 мА.
- [5] Разъем DB25 для подключения измерителя в качестве DCE устройства (т.е. модема) к терминальному устройству DTE (т.е. компьютеру), используя протокол RS232. Для получения более полной информации обратитесь к главе 3 "Дистанционное управление измерителем LCR" в части 2 настоящего руководства.
- [6] Переключатели SW1 предназначены для установки параметров интерфейса RS232: скорости обмена RS-232, проверки четности и длины слова данных.
- [7] Приборная вилка разъем DB25 интерфейса сортировочного устройства предназначена для подключения кабеля управления сортировочным устройством. Интерфейс содержит входную линию запуска измерителя, выходные линии, указывающие на корзину сортировки (до 10 корзин), и линии сигнала управления сортировочным устройством.
- [8] Разъем интерфейса GPIB IEEE позволяет осуществлять управление прибором через компьютер с использованием интерфейса GPIB (General Purpose Interface Bus, интерфейсная шина общего назначения) IEEE-488. Для получения более полной информации обратитесь к главе 3 "Дистанционное управление измерителем LCR" в части 2 настоящего руководства.
- [9] Переключатели SW2 предназначены для установки адреса измерителя для интерфейса GPIB. Для получения более полной информации обратитесь к главе 3 "Дистанционное управление измерителем LCR" в части 2 настоящего руководства.

Характеристики

Режимы измерения и отображаемые параметры

- Режимы измерения: AUTO (автоматический), R+Q, L+Q, C+D, C+R
- Эквивалентные схемы: последовательная или параллельная
- Отображаемые параметры: измеренное значение, отклонение, процентное отклонение или номер корзины. Отклонение и процентное отклонение вычисляются относительно сохраненного в памяти опорного значения.
- Усреднение: по 2–10 измерениям
- Диапазоны измерения:
 - R+Q: R: 0.0001 Ом–2000 МОм
Q: 0.00001–50
 - L+Q: L: 0.0001 мкГн–99999 Гн
Q: 0.00001–50
 - C+D: C: 0.0001 пФ–99999 мкФ
D: 0.00001–10
 - C+R: C: 0.0001 пФ–99999 мкФ
R: 0.00001 Ом–99999 кОм

Условия измерения

- Тестовая частота: 100 Гц, 120 Гц, 1 кГц, 10 кГц, 100 кГц;
погрешность частоты: ± 100 промилле.
- Выходное напряжение: фиксированные значения: 0.10, 0.25 и 1.0 В_{эфф.} или регулируемое: от 0.1 до 1.0 В_{эфф.} с шагом 50 мВ.
- Погрешность установки выходного напряжения: $\pm 2\%$.
- Скорость измерения: (а) низкая (SLOW): 2 измерения/с, средняя (MED): 10 измерений/с и высокая (FAST): 20 измерений/с при тестовой частоте 1 кГц и выше.
(б) соответственно около 0.6, 2.4 и 6 измерений/с при тестовой частоте 100 Гц или 120 Гц.
- Выбор диапазона: автоматический или ручной
- Запуск: автоматический, ручной или дистанционный (через интерфейсы RS232 и GPIB, а также интерфейс сортировочного устройства)
- Напряжение смещения: внутренний источник: 2.0 В $\pm 2\%$ постоянного тока
внешний источник: от 0 до +40 В постоянного тока (плавкий предохранитель 0.25 А)

Погрешность измерения

- Условия гарантируемой погрешности: предварительный прогрев прибора не менее 30 минут; температура окружающей среды 23°C (73°F) $\pm 5^{\circ}\text{C}$
- Базовая погрешность прибора – 0.05%. Для получения более полной информации обратитесь к главе 2 "Погрешности и калибровка" в части 2 настоящего руководства.
- Ниже приводятся усредненные типовые значения погрешности прибора:

<i>Погрешность:</i>	<i>Измеряемая величина:</i>
$\leq 1\%$	$0.125\ \text{Ом} < R < 16\ \text{МОм}$ $2.5\ \text{мкГн} < L < 25\ \text{кГн}$ $1.25\ \text{пФ} < C < 12.8\ \text{мФ}$
$\leq 5\%$	$21\ \text{МОм} < R < 96\ \text{МОм}$ $420\ \text{нГн} < L < 150\ \text{кГн}$ $0.21\ \text{пФ} < C < 77\ \text{мФ}$

при следующих условиях:

выходное напряжение: 1.0 В, 0.5 В или 0.25 В
скорость измерения: низкая (SLOW) или средняя (MED)
 Q и $D < 0.1$ для R и C
 $Q > 10$ для L
100 Гц, 120 Гц или 1 кГц тестовая частота для R
100 Гц тестовая частота для $L_{\text{макс.}}$ и $C_{\text{макс.}}$
10 кГц тестовая частота для $L_{\text{мин.}}$ и $C_{\text{мин.}}$

Возможности прибора и дополнительное оборудование

Возможности и общие характеристики

	Описание
Радиальный фиксатор компонентов Защита	Фиксатор с 4-х проводной схемой подключения для компонентов с радиальными или аксиальными выводами Внутренняя схема прибора позволяет разряжать конденсатор с запасенной энергией до 1 Дж при напряжении до 200 В; имеется плавкий предохранитель 0.25 А для защиты цепи смещения.
Автоматическая компенсация	Калибровки нуля для закороченной и разомкнутой цепи; пределы компенсации: для закороченной цепи $R < 20 \text{ Ом}$, $Z < 50 \text{ Ом}$, для разомкнутой цепи: $Z > 10 \text{ кОм}$.
Сортировка компонентов	До 8 корзин для сортировки по основному параметру, корзина для компонентов, неудовлетворяющих критерию по дополнительному параметру и корзина для компонентов, не попавших ни в одну из корзин; все настройки для сортировки могут производиться с передней панели прибора или дистанционно через компьютерный интерфейс; настройки для сортировки могут быть сохранены в энергонезависимой памяти прибора.
Самопроверка	Проверка ПЗУ, ЦП, энергонезависимого ОЗУ, задающего генератора, АЦП, внутреннего источника смещения, умножителя, схемы выходного сигнала, схемы усилителя и стандартов сопротивлений.
Память настроек	Сохранение и загрузка до девяти полных вариантов настроек прибора. В дополнительной ячейке памяти с номером 0 хранятся начальные настройки производителя.
Интерфейс RS232	Позволяет дистанционно в полном объеме управлять измерителем PROTEK 9216A и считывать информацию из него.
Условия эксплуатации	$0^{\circ}\text{C} \div 50^{\circ}\text{C}$ при относительной влажности $0 \div 80\%$
Питание	110/220 В, 50/60 Гц, 20 Вт
Размеры	108 (В) $\times$ 362 (Ш) $\times$ 381 (Д) мм (4¼ (В) $\times$ 14 ¼ (Ш) $\times$ 15 (Д) дюймов)
Масса	4,76 кг (12 ¾ фунта)
Гарантия	Два года гарантии отсутствия дефектов материалов и изготовления

Дополнительное оборудование

Оборудование	Описание
Интерфейс IEEE-488	Позволяет дистанционно управлять измерителем PROTEK 9216A и считывать из него информацию
Интерфейс сортировочного устройства	25-контактный гнездовой разъем обеспечивает подключение к выходным линиям управления корзинами, линиям состояния измерителя и входу его запуска. Замечание: для установки обоих интерфейсов требуется установка единой дополнительной платы
Четырехпроводный фиксатор "зажимы Кельвина"	Предназначен для подключения компонентов, которые сложно подключить к измерителю с помощью штатного фиксатора. Маркировка полярности для измерений с использованием напряжения смещения.
Фиксатор SMD компонентов	Для подключения электронных компонентов для поверхностного монтажа
BNC адаптер	Для подключения приборов или специфических фиксаторов к измерителю.

Инструкция по эксплуатации

Как использовать PROTEK 9216A и что для этого нужно?

Измеритель LCR PROTEK 9216A является очень гибким инструментом, позволяющим очень точно настраивать режим измерения и получать наилучшие результаты даже для специфических задач. Эта глава объединяет описание работы измерителя и основных методов управления.

Начало работы с измерителем LCR

Приступая к эксплуатации измерителя LCR PROTEK 9216A, убедитесь в правильности размещения его на рабочем месте и организации его питания.

Для получения максимальной точности в любых ответственных измерениях необходимо научиться правильно настраивать прибор, а также правильно использовать его различные дополнительные возможности и фиксаторы для измеряемых компонентов.

Распаковка и проверка

Извлеките измеритель LCR PROTEK 9216A из упаковки, проверьте комплектность поставки и отсутствие любых повреждений в результате транспортировки. Сохраните упаковочные материалы.

Комплектность поставки:

- измеритель LCR PROTEK 9216A
- радиальный фиксатор
- шнур питания;
- руководство по эксплуатацию

Размещение прибора

Для правильного размещения и питания прибора необходимо сделать следующее:

- проверьте соответствие рабочих условий прибора условиям, указанным в характеристиках;
- для обеспечения нормальной вентиляции прибора необходимо наличие свободного пространства не менее 5.1 см (2 дюйма) до любой из стенок прибора;
- проверьте соответствие типов и номиналов используемых плавких предохранителей;
- проверьте правильность электрических соединений;
- подключите шнур питания из комплекта поставки прибора к разъему на задней панели.

Процедуры настройки

Непосредственно после включения питания прибора на дисплее в течение трех секунд отображаются версия прошивки программного обеспечения "0X" и номер модели "HC9216". После чего запускается процедура самопроверки, в течение которой на дисплее отображается "test" и ".....". После успешного завершения процедуры самопроверки на дисплее появится сообщение "test pass". Очень важно для правильного проведения самопроверки до ее начала выполнить описанные ниже процедуры подготовки.

Перед включением прибора

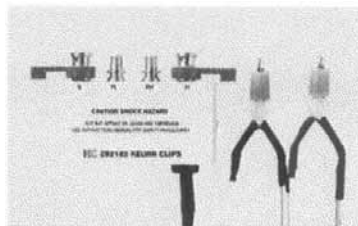
Перед включением питания прибора убедитесь в отсутствии проверяемого компонента во входном фиксаторе. Наличие компонента в фиксаторе может стать причиной ошибки процедуры самопроверки и отображения на дисплее кода ошибки.

Перед использованием фиксаторов компонентов

После завершения процедуры самопроверки на дисплее должен появиться индикатор состояния перегрузки. После чего можно приступить к настройке режима измерения и проведению измерений. Однако для обеспечения максимальной точности перед любым измерением рекомендуется выполнять процедуру калибровки нуля для входного тестового фиксатора компонентов.

Дополнительные фиксаторы

На передней панели прибора имеются четыре разъема BNC маркированные следующим образом: IL, PL, PH, IH. Наиболее известный фиксатор, называемый "4-х проводными зажимами Кельвина", имеет два разъема для подачи и приема тока от прибора к объекту измерения, а также два разъема для измерения падения напряжения на объекте. Отдельные проводники для измерения падения напряжения позволяют минимизировать влияние на них тестового тока и снизить их распределенный импеданс, увеличивающих в свою очередь ошибку измерения.



Для специфических измерений возможно использование нескольких типов фиксаторов: радиальный фиксатор (поставляется с прибором), зажимы Кельвина, пинцет для SMD компонентов или BNC адаптер. Дополнительные фиксаторы можно приобрести у наших дистрибьюторов.

Радиальный фиксатор тестируемых компонентов PROTEK 9216A подключается к четырем входным разъемам прибора, расположенным на его передней панели, обеспечивает двухполярное подключение и имеет подпружиненные щелевые гнезда для надежного подключения тестируемых компонентов с радиальными выводами.

Фиксатор позволяет также подключать компоненты с аксиальными и ленточными выводами. С помощью данного фиксатора возможно подключение большинства компонентов. Однако для ряда компонентов потребуются специальные фиксаторы.

Процедура калибровки нуля

При каждом изменении схемы измерения, включая смену входного фиксатора, перед измерением производите процедуры калибровок нуля для закороченной и для разомкнутой цепи с целью компенсации распределенного импеданса соединительных проводов, фиксатора, кабелей, а также прочих распределенных емкостей. Калибровка нуля должна производиться после изменения подключения фиксатора, или после изменения амплитуды тестирующего сигнала. Калибровка нуля сохраняется для любых частот и любых диапазонов; при их изменении повторять эту калибровку нет необходимости. При проведении ответственных измерений калибровка нуля должна производиться по возможности часто по ходу измерения.

Измеритель LCR сохраняет в энергонезависимой памяти данные калибровок нуля для закороченной и для разомкнутой цепи. Данные калибровки сохраняются при помощи кнопки **STO**, а вызываются при помощи кнопки **RCL**, позволяя сохранить в памяти калибровки нуля для различных фиксаторов.

Процедура калибровки нуля производится через меню, вызываемого нажатием кнопки **CAL**, расположенной в группе кнопок **SETUP** на передней панели прибора. Для выполнения калибровки нуля нажмите и удерживайте кнопку **CAL** до появления на алфавитно-цифровом дисплее сообщения "nuLL cAL". После появления этого сообщения нажмите кнопку **ENTER**, в результате чего на дисплее появится следующее сообщение "Short cAL."

Для калибровки нуля закороченной цепи необходимо закоротить контакты фиксатора, поместив в зажимы фиксатора проводник сечением 26÷16 AWG (диаметр 0.02÷0.05" или 0.51÷1.30 мм). Процедура калибровки происходит автоматически после нажатия кнопки **ENTER**, при этом от фиксатора необходимо убрать руки, а также любые посторонние предметы. После завершения процедуры калибровки нуля закороченной цепи измеритель предложит провести следующую калибровку нуля разомкнутой цепи отображением на дисплее сообщения "oPEn cAL."

Для калибровки нуля разомкнутой цепи удалите закорачивающий проводник и нажмите затем кнопку **ENTER**, при этом снова от фиксатора необходимо убрать руки, а также любые посторонние предметы. После завершения процедуры калибровки нуля на дисплее появится следующее сообщение "cAL donE." Чтобы убрать с дисплея это сообщение и вернуть его в обычный режим отображения нажмите кнопку **DISP**.

Выбор и изменение настроек

При первом включении питания измерителя LCR PROTEK 9216A загружаются начальные настройки производителя, включающие автоматический (**AUTO**) режим измерения и отображение результата измерения на алфавитно-цифровом дисплее. Режим автоматического измерения подходит для большинства измерений. Тем не менее, с помощью кнопок выбора режима **PARAMETER**, расположенных на передней панели прибора, можно выбрать специальный режим измерения, а также с помощью кнопок передней панели выбрать параметры режима и ввести для них требуемые числовые значения, используя цифровые кнопки. Параметры режима измерения, для вызова которых на панели прибора нет отдельных кнопок, например, число измерений при усреднении, отклонение относительно опорного значения и т.п., могут быть вызваны нажатием кнопки **DISP** для перевода прибора в режим ввода **ENTRY**. В таблице 3-1 далее приведены наиболее подходящие настройки прибора для различных величин измеряемых параметров типичных компонентов.

Таблица 3-1. Настройки прибора для различных величин измеряемых параметров типичных компонентов

Исследуемый компонент	Величина	Режим измерения	Эквивалентная схема	Частота
неизвестный	любое значение	AUTO	последовательная	1 кГц
резистор	< 1 кОм > 1 кОм	R+Q	последовательная	1 кГц 100 или 120 Гц
индуктивность	< 10 мкГн 10 мкГн ÷ 1 мГн 1 мГн ÷ 1 Гн > 1 Гн	L+Q	последовательная	100 кГц 10 кГц 1 кГц 100 или 120 Гц
емкость	< 10 пФ 10 пФ ÷ 400 пФ 400 пФ ÷ 1 мкФ > 1 мкФ	C+D C+D C+D C+R или C+D	параллельная последовательная или параллельная последовательная последовательная	10 кГц 10 кГц 1 кГц 100 или 120 Гц

Начальные настройки производителя

Для загрузки начальных настроек производителя, указанных в таблице ниже, нужно нажать кнопку забоя [←] и, удерживая ее нажатой, включить питание прибора.

Замечание: при этом все текущие на момент загрузки настройки и калибровки будут утрачены.

Чтобы не утратить текущие калибровки при загрузке настроек производителя, выполните ее следующим образом: нажмите последовательно кнопки **RCL** → **[0]** → **ENTER**. В этом случае начальные настройки производителя, перечисленные в таблице ниже, будут загружены без изменения текущих калибровок прибора. Для получения более подробной информации о настройках, приведенных в таблице, обратитесь к соответствующим разделам, описывающим их.

Таблица 1-1. Начальные настройки производителя PROTEK 9216A

Настройка	Значение	Индикация
Режим измерения	автоматический	AUTO
Частота тестирующего сигнала	1 кГц	1kHz
Выходное напряжение	1.0 В _{эфф.}	1.0V
Напряжение смещения	выключено	-
Скорость измерения	медленная SLOW	SLOW
Усреднение	выключено	-
Фиксация диапазона	выключено	-
Эквивалентная схема	последовательная	SERIES
Отображение	измеренное значение	VALUE
Режим запуска	автоматический	CONT
Режим сортировки компонентов	выключен	-

Изменение, сохранение в памяти и загрузка настроек пользователя

Режим измерения

Режим измерения выбирается нажатием одной из пяти кнопок расположенных на передней панели прибора в зоне выбора режима измерения (**PARAMETER**).

AUTO (автоматический) при этом режиме прибор автоматически выбирает наиболее подходящее для тестируемого устройства измерение. Выбор осуществляется согласно следующим критериям:

- если $|Q| < 0.125$, прибор выбирает режим измерения R+Q;
- если $Q > +0.125$, прибор выбирает режим измерения L+Q;
- если $Q < -0.125$ и прибор находится в режиме измерения для последовательной эквивалентной схемы, выбирается режим измерения C+R;
- если $Q < -0.125$ и прибор находится в режиме измерения для параллельной эквивалентной схемы, выбирается режим измерения C+D.

R+Q при этом режиме значение сопротивления отображается на дисплее основного параметра, а значение добротности Q отображается на дисплее дополнительного параметра. Значение R является либо последовательным, либо параллельным эквивалентным сопротивлением тестируемого устройства (единицы измерения R – Ом (Ω), кОм ($k\Omega$) или МОм ($M\Omega$)). Значение добротности Q – это безразмерная величина равная отношению мнимой составляющей импеданса устройства к его активной составляющей. Если Q имеет положительное значение (+), то реактивная составляющая тестируемого устройства является индуктивной. Если Q имеет отрицательное значение (–), то реактивная составляющая является емкостной.

L+Q при этом режиме значение последовательной или параллельной эквивалентной индуктивности тестируемого устройства отображается на дисплее основного параметра (единицы измерения индуктивности – мкГн (μH), мГн (mH) или Гн (H)), а безразмерное значение добротности Q отображается на дисплее дополнительного параметра.

C+D при этом режиме значение последовательной или параллельной эквивалентной емкости тестируемого устройства отображается на дисплее основного параметра (единицы измерения емкости – пФ (pF), нФ (nF) или мкФ (μF)), а на дисплее дополнительного параметра отображается тангенс угла потерь $D = 1/Q$. Значение параметра D для исправного конденсатора, как правило, очень мало.

C+R при этом режиме значение емкости отображается на дисплее основного параметра, а значение эквивалентного сопротивления отображается на дисплее дополнительного параметра. Кроме того, обратите внимание, что при этом режиме негорящий индикатор **k Ω** означает, размерность сопротивления – Ом.

Частота

Прибор обеспечивает погрешность частоты выходного сигнала 100 промилле (0.01%). Частоты выбираются нажатием кнопок $\uparrow$ или $\downarrow$ на передней панели до зажигания соответствующего требуемой частоте светодиода. Если прибор находится в режиме фиксированного диапазона и при этом установлен диапазон с обозначением 0, то выбор частоты 100 кГц в этой ситуации невозможен. При попытке установки частоты 100 кГц прибор предупредит о невозможности выбора звуковым сигналом и сообщением на алфавитно-цифровом дисплее “r-f error”

(ошибка выбора частота-диапазон). Более подробно это описано в разделе этой главы “Диапазоны измерения”.

Выходное напряжение

Измеритель PROTEK 9216A имеет возможность установки трех фиксированных действующих значений напряжения выходного сигнала: 0.1 В, 0.25 В или 1.0 В. Кроме того имеется возможность выбора напряжения от 0.1 В до 1.0 В с шагом 50 мВ. Эти напряжения выбираются с помощью кнопок на передней панели. Погрешность напряжения не более 2%. Для выбора фиксированного напряжения нажмите кнопку **VOLT**, расположенную на передней панели в зоне выбора тестового напряжения **DRIVE VOLT**, и отпустите ее после зажигания соответствующего требуемому напряжению светодиодного индикатора.

Для выбора напряжения от 0.1 В до 1.0 В с шагом 50 мВ

1. Нажмите кнопку **CAL** на передней панели. Светодиод **ENTRY** расположенный в зоне **DISPLAY** должен индицировать режим **ENTRY**, а на алфавитно-цифровом дисплее должно быть отображено сообщение “vtest” и текущее значение напряжения.
2. При помощи цифровых кнопок введите требуемое значение выходного напряжения (возможен ввод от 0.1 В до 0.9 В с шагом 50 мВ) и нажмите кнопку **[ENTER MΩ H μF]**.

Замечание: если ни один светодиодный индикатор не горит, то это означает, что выходное напряжение отлично от фиксированных значений.

Источник напряжения выходного тестирующего сигнала имеет свой собственный импеданс. Поэтому напряжение на тестируемом приборе может быть меньше выходного напряжения измерителя. Импеданс источника выходного напряжения данного измерителя может иметь одно из четырех автоматически выбираемых значений: 25 Ом (диапазон 3), 400 Ом (диапазон 2), 6.4 кОм (диапазон 1) и 100 кОм (диапазон 0); погрешность любого из этих значений импеданса – 2%. Импеданс источника автоматически выбирается в зависимости от диапазона измерения, кроме ситуации, когда измеритель находится в режиме постоянного напряжения. При режиме постоянного напряжения импеданс источника всегда равен 25 Ом. Обратитесь к разделу “Диапазоны измерения” поясняющему как определить текущий диапазон измерения прибора.

На рис. 3-1 показано нормированное напряжение на тестируемом приборе в зависимости от его импеданса для различных диапазонов измерения. Напряжение нормировано к номинальному выходному напряжению; графики нормированного напряжения на тестируемом приборе, приведенные на рисунке, описываются формулой

$$(U_{\text{тест. прибора}}/U_{\text{источника}}) = R_{\text{тест. прибора}}/(R_{\text{источника}} + R_{\text{тест. прибора}})$$

Нужно отметить, что напряжение, прикладываемое к тестируемому прибору, обычно равно установленному выходному напряжению, если импеданс тестируемого прибора близок к верхней границе диапазона измерения, и снижается по мере приближения импеданса тестируемого прибора к нижней границе диапазона. Это вызвано наличием импеданса источника напряжения. При режиме постоянного напряжения (CV) импеданс источника всегда равен 25 Ом. Для любых тестируемых приборов с импедансом во много раз больше 25 Ом падение напряжения на них будет равно выходному напряжению.

Для большинства приборов, включая резисторы и конденсаторы, а также многие индуктивности, наиболее подходит выбор выходного напряжения 1.0 Вэфф.. Для некоторых индуктивностей, а также полупроводников или других активных приборов, например, диодов или транзисторов, следует использовать выходное напряжение 0.25 или 0.1 Вэфф. Некоторые приборы требуют использование

специфического тестового напряжения, например, керамический дисковый конденсатор Z5U (тестовое напряжение =0.5 Вэфф.). В этом случае используйте установку напряжения от 0.1 В до 1.0 В для получения точного значения требуемого напряжения. Обычно, лучше применять более высокое тестовое напряжение для обеспечения лучшего отношения сигнал/шум и большей точности измерения.

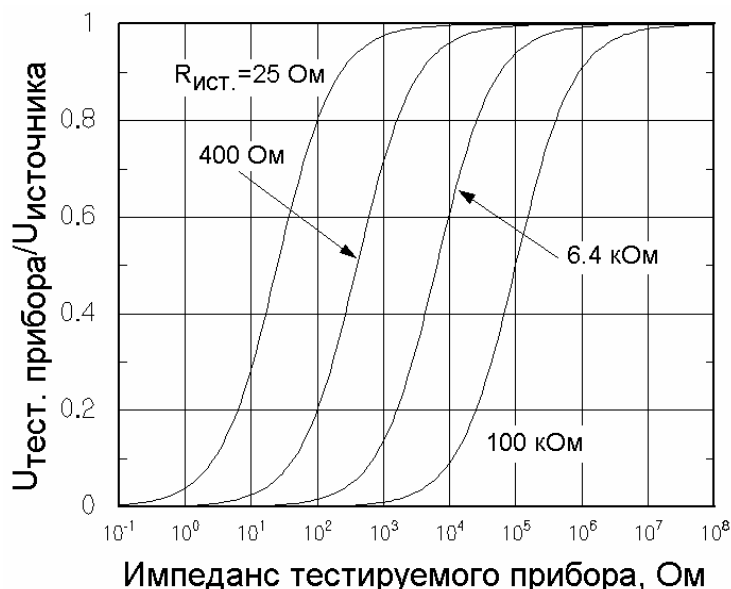


Рисунок 3-1. Нормированное напряжение на тестируемом приборе в зависимости от его импеданса

Электрическое смещение

Прибор позволяет использовать для конденсаторов напряжение смещения постоянного тока от внутреннего или внешнего источника. Электролитические и танталовые конденсаторы для точного измерения требуют положительного напряжения смещения постоянного тока, хотя тестовое напряжение переменного тока обычно недостаточно, чтобы повредить их. Напряжение смещения постоянного тока 2 В (от внутреннего источника) или до 40 В (от внешнего источника) позволяют воссоздать при измерении реальные условия работы тестируемых приборов. Возможность применения внешнего источника позволяет, кроме того, производить измерения для полупроводниковых приборов в определенной рабочей точке.

Замечание Перед началом работы убедитесь в правильном подключении полярного конденсатора. Положительный вывод напряжения смещения расположен справа и маркирован на измерителе. Неправильное подключение тестируемого прибора может привести к его разрушению и получению травм. Будьте осторожны при отключении конденсатора от фиксатора компонентов, поскольку неразряженный конденсатор способен в течение длительного времени сохранять заряд от источника напряжения смещения.

ОСТОРОЖНО! Аккуратно производите разряд конденсатора после проведения измерений, особенно после использования высокого напряжения смещения от внешнего источника. Неполный разряд конденсатора может стать причиной его повреждения, повреждения измерителя или получения травм. Измеритель позволяет производить разряд через внутренние цепи до 1 джоуля запасенной в конденсаторе энергии ($C \cdot U^2 / 2$).

Использование напряжения смещения от внутреннего или внешнего источника возможно только при режимах работы прибора C+D или C+R. Напряжение

смещения не может быть подано на выход прибора при режимах работы прибора R+Q, L+Q или AUTO.

При нажатии кнопок, расположенных в зоне смещения **BIOS** на передней панели прибора, в любом из недопустимых для использования смещения режимов на дисплее появится сообщение об ошибке "bias for c". При наличии смещения измеритель всегда будет находиться в режиме постоянного напряжения, поэтому напряжение на тестируемом конденсаторе через определенное время будет стабильным. Обратитесь к другим разделам, содержащим информацию о влиянии режима постоянного напряжения на погрешность и диапазоны измерений.

Непосредственно после подачи напряжения смещения требуется некоторое непродолжительное время для стабилизации внутренних цепей измерителя и тестируемого прибора. Это время главным образом определяется постоянной времени RC сопротивления источника, а также суммарной емкости тестируемого конденсатора и емкости внутреннего разделительного конденсатора 0.47 мкФ. В течение этого времени при режиме автоматического запуска показание измерителя может изменяться. В этом случае не следует обращать внимание на начальные показания прибора. Если по каким-либо соображениям это неудобно, то используйте режим отличный от непрерывного запуска (просто дайте короткое время выдержки перед запуском) или увеличьте время задержки после запуска измерителя LCR. Обратитесь к разделу "Скорость измерения" для получения информации об установке времени задержки. И еще одно замечание, емкость некоторых конденсаторов может иметь слабый дрейф после изменения напряжения постоянного смещения.

Смещение от внутреннего источника

Перед подачей напряжения смещения 2.0В постоянного тока от внутреннего источника на тестируемый конденсатор сначала убедитесь в правильной полярности его подключения к фиксатору компонентов (положительная – справа). Нажмите кнопку **INT** для подачи напряжения смещения. Через одну или две секунды показание стабилизируется. Перед извлечением конденсатора из фиксатора нажмите кнопку **INT** повторно для выключения напряжения смещения и разряда конденсатора.

Смещение от внешнего источника

Измеритель имеет на задней панели разъем для подключения внешнего источника напряжения смещения до +40 В постоянного тока, которое затем подается на тестируемый конденсатор. Этот источник должен быть изолирован от земли (ни один из его выходов не должен иметь контакта с заземлением) а также иметь ограничение по току не более 250 мА. Рекомендуется использовать линейный, а не импульсный источник питания. Источник должен иметь хорошие фильтры, не допускающие пульсаций напряжения смещения. Подключение источника смещения осуществляется с помощью двух штекеров к гнездам на задней панели прибора. Красное гнездо предназначено для подключения положительного, а черное – отрицательного выводов источника. Цепь подключения внешнего источника к измерителю имеет встроенный защитный диод, предотвращающий подачу напряжения обратной полярности, а также защиту плавким предохранителем 250 мА, расположенным на задней панели прибора рядом с гнездами для подключения внешнего источника. Если измеритель не дает стабильного показания после включения напряжения смещения от внешнего источника, проверьте плавкий предохранитель. Если внешний источник напряжения смещения был подключен с обратной полярностью, то велика вероятность выхода из строя плавкого предохранителя. Необходимо предпринять меры для разряда конденсатора после проведения измерения перед извлечением его из фиксатора. Обычно для обеспечения безопасной работы и

для разряда конденсатора параллельно контактам, подающим напряжение смещения, заранее подключают внешний коммутатор или разрядный резистор.

Перед включением внешнего напряжения смещения убедитесь в правильности подключения внешнего источника. Убедитесь в правильной полярности подключения конденсатора к фиксатору компонентов (положительная – справа). Затем нажмите кнопку **EXT** для подачи напряжения смещения. По окончании измерения разрядите конденсатор перед его отключением или извлечением из фиксатора компонентов.

При одиночном измерении небольшой емкости (<500 мкФ) и невысоком напряжении смещения (<20 В постоянного тока) прибор может осуществить разряд емкости через свои внутренние цепи. Нажмите кнопку **EXT** для выключения напряжения смещения, и конденсатор будет разряжен аналогично случаю работы с внутренним источником напряжения смещения.

Другой способ разряда при измерении большой емкости и/или высоком напряжении смещения состоит в подключении резистора параллельно контактам, подающим напряжение смещения. Выключите источник напряжения смещения и подождите, пока конденсатор разрядится через резистор, и лишь затем отключите или извлеките конденсатор из фиксатора. Поскольку при подаче напряжения смещения через резистор будет протекать ток, то предварительно нужно оценить этот дополнительный ток и убедиться, что источник напряжения смещения сможет обеспечить этот ток. Для больших емкостей или при высоком напряжении смещения для разряда конденсатора необходимо использовать внешний коммутатор для отключения напряжения смещения и замыкания выводов конденсатора для разряда.

Скорость измерения

PROTEK 9216A имеет три скорости измерения, выбираемые нажатием кнопки **RATE**: низкую (SLOW), среднюю (MED) и высокую (FAST). В таблице 3-2 приведены максимальные значения скорости измерения. Эти значения могут достигаться при следующих условиях: прибор не находится в режиме автоматического выбора диапазона, режим сортировки выключен, а также ни один из интерфейсов (GPIB или RS232) не активирован. Измерения с низкой или средней скоростью имеют наибольшую точность, а измерение с высокой скоростью – наименьшую точность.

Реальное время измерения можно вычислить по следующей формуле:

$$T_{\text{измерения}} = T_s + (N_i/f + T_{di} + T_{rs} + T_d) N_m + T_{calc}$$

где T_s = установленное пользователем время, N_i = число периодов тестового сигнала, используемых при измерении, f = частота тестового сигнала, T_{di} = время интегрирования, T_{rs} = время подготовки к измерению, T_d = время задержки, N_m = число циклов измерения, а T_{calc} = длительность вычислений. T_{di} , T_d и T_{calc} – это константы, T_{rs} и f задаются частотой тестового сигнала. Величины N_i и N_m определяются автоматически выбором скорости измерения, а T_s может быть задано пользователем. Обратитесь к таблице 3-3, где приведены соответствующие значения.

В дополнение к этим факторам время измерения увеличивается при включении режима автоматического выбора диапазона, режима сортировки, или любого из интерфейсов GPIB или RS232. Режим сортировки добавляет около 2.5 мс к общему времени измерения. Автоматический выбор диапазона добавляет $n \cdot (T_{\text{измерения}} - 1 \text{ мс})$, где n – это число переключений диапазона, $T_{\text{измерения}}$ – это рассчитанное по приведенной выше формуле время измерения.

Таблица 3-2. Скорость измерения (число измерений в секунду)

Частота	Скорость измерения		
	низкая (SLOW)	средняя (MED)	высокая (FAST)
100 кГц	2.8	14	28
10 кГц	2.8	14	27
1 кГц	0.7	13	24
120 Гц	0.7	2.8	7
100 Гц	0.6	2.4	6

Таблица 3-3: Таблица значений параметров

Параметры	Значения параметров				
N_m	низкая (SLOW)	8			
	средняя (MED)	8			
	высокая (FAST)	5			
N_i		100/120 Гц	1 кГц	10 кГц	100 кГц
	низкая (SLOW)	20	40	400	4000
	средняя (MED)	4	4	40	400
	высокая (FAST)	2	2	20	200
T_{xx}	T_{rs}	T_{di}	T_d	T_{calc}	T_s
	1/f	2 мс	2 мс	3 мс	2–99 мс

Трудно точно оценить значение вклада в временные затраты использования интерфейсов GPIB или RS-232, поскольку он зависит от скорости обмена, производительности компьютера и программного обеспечения. Около 5 мс измеритель затрачивает для ответа на каждую простую команду, получаемую через интерфейс. Обычно команды подобные установке частоты или проверке установки текущего диапазона и ответы на них могут потребовать затрат времени около 10 мс. Имеются и еще более затратные по времени команды, например, XALL?, ее обработка при работе через RS-232 может потребовать около 2 секунд. Если коммуникационная скорость является важной, то рекомендуем использовать двоичный формат представления данных, поскольку при этом уменьшается число пересылаемых байтов.

Время задержки

Иногда полезно задержать непосредственно измерение относительно момента запуска измерителя. Это требуется для стабилизации напряжения смещения на конденсаторе или механического успокоения механизма сортировочного устройства. Время задержки может быть задано с шагом 1 мс в интервале от 2 до 99 мс.

Для установки времени задержки

1. нажмите кнопку **CAL**, пока на левом алфавитно-цифровом дисплее не появится сообщение “settle”, а на правом – текущее значение времени задержки;
2. введите новое значение времени задержки в интервале от 2 до 99;
3. нажмите кнопку **ENTER**.

При попытке ввода недопустимого значения времени задержки измеритель предупредит звуковым сигналом и сообщением на дисплее “range error.”

Запуск

PROTEK 9216A имеет два режима запуска: автоматический и ждущий. Изменение режима запуска осуществляется нажатием кнопки **MODE**, расположенной в зоне управления запуском **TRIGGER** на передней панели прибора. О включении требуемого режима запуска свидетельствуют два светодиодных индикатора: **CONT** – автоматический режим запуска, **TRIGGERED** – ждущий режим запуска.

В режиме автоматического запуска измеритель запускает себя сам, обеспечивая максимальную скорость измерения. В ждущем режиме запуск измерения может производиться нажатием кнопки **TRIG** или через интерфейсы RS232, GPIB, а также через интерфейс сортировочного устройства.

После запуска кнопкой **TRIG** процесс однократного измерения индицируется миганием светодиодного индикатора **TRIG**.

Замечание: до завершения текущего процесса измерения прибор будет игнорировать любую попытку запуска.

Сохранение и загрузка

Кнопки **STO** и **RCL** позволяют полностью сохранять в энергонезависимой памяти до девяти вариантов настроек прибора. Сохраняются все настройки, включая режим сортировки, конфигурацию и калибровки нуля для замкнутой и разомкнутой цепи.

Для сохранения настроек

1. нажмите кнопку **STO**, на дисплее появится сообщение “store”;
2. нажмите кнопку, соответствующую номеру требуемой для сохранения ячейки памяти ([1] – [9]), затем нажмите кнопку **ENTER**.

Для загрузки настроек

1. нажмите кнопку **RCL**, на дисплее появится сообщение “rcl”;
2. нажмите кнопку, соответствующую номеру требуемой ячейки памяти с сохраненными настройками ([1] – [9]), затем нажмите кнопку **ENTER**.

Замечания:

1. Последовательность нажатия кнопок **STO** → [0] → **ENTER** – ошибочная, поскольку в ячейке с номером 0 хранятся начальные настройки производителя.
2. Последовательность нажатия кнопок **RCL** → [0] → **ENTER** загружает начальные настройки производителя, без изменения текущих калибровок прибора.
3. Появление сообщения “cal error 4” в процессе самопроверки прибора или сообщения “rcl error” при загрузке настроек означает, что сохраненные ранее в памяти настройки утрачены, и калибровки должны быть выполнены заново.

Диапазоны измерения

Прибор имеет четыре диапазона измерения обозначаемых цифрами от 0 до 3. Диапазон измерения может быть выбран вручную, или измеритель может его выбрать автоматически. В таблице 3-4 приведены диапазоны импеданса для каждого диапазона измерения. При каждом из четырех диапазонов прибор имеет различный импеданс источника тестового сигнала равный приблизительно середине соответствующего диапазона измерения. Помните, что диапазон измерения определяет диапазон импеданса, а не диапазон измеряемого параметра, так диапазоны индуктивности и емкости будут зависеть от частоты тестового сигнала. Параметр f , далее по тексту, является частотой тестового сигнала. Кроме того, импеданс конденсатора обратно пропорционален его емкости, поэтому, чем больше емкость конденсатора, тем ниже должен быть диапазон импеданса при измерении.

Таблица 3-4. Диапазоны измерения и диапазоны импеданса

Диапазон	Сопротивление источника	Сопротивление	Индуктивность	Емкость
3	25.0 Ом	10 мкОм÷ 100.0 Ом	0.0001 мкГн÷ (15.9/f) Гн	99999 мкФ÷ (1.59/f) мФ
2	400 Ом	100.0 Ом÷ 1.6 кОм	(15.9/f) Гн÷ (255/f) Гн	(1.59/f) мФ÷ (99.5/f) мкФ
1	6.4 Ом	1.6 кОм÷ 25.6 кОм	(255/f) Гн÷ (4074/f) Гн	(99.5/f) мкФ÷ (6.22/f) мкФ
0	100 кОм	25.6 кОм÷ 2000 МОм	(4074/f) Гн÷ 99999 Гн	(6.22/f) мкФ÷ 0.0001 пФ

* f – частота тестового сигнала

Автоматический выбор диапазона

При нормальной работе измеритель автоматически выбирает диапазон для наиболее точного измерения параметра тестируемого прибора. Если при измерении импеданса его значение выходит за границы текущего диапазона измерения, то прибор выбирает соседний диапазон вверх или вниз и снова производит измерение. Если результат этого измерения укладывается в новый текущий диапазон, то прибор отображает результат на дисплее, в противном случае прибор вновь изменяет диапазон (если возможно) и повторяет описанную выше процедуру. Граничные условия выбора диапазона имеют гистерезис, исключая закливание при попадании значения измеряемого параметра на границу диапазона. Изменение диапазона вверх происходит, когда измеряемый импеданс превышает 450% импеданса середины диапазона (другими словами импеданс источника) или на 12.5% выше номинального значения границы диапазона. Изменение диапазона вниз происходит, когда измеряемый импеданс становится меньше 22% импеданса середины диапазона или на 12.5% ниже номинального значения границы диапазона. В таблице 3-5 приведены граничные значения, при достижении которых происходит смена диапазона.

Таблица 3-5. Критерий автоматического выбора диапазона

<i>В направлении меньшего импеданса</i>		<i>В направлении большего импеданса</i>	
Изменение диапазона	Импеданс	Изменение диапазона	Импеданс
от 2 к 3	$Z < 88 \text{ Ом}$	от 3 к 2	$Z > 115 \text{ Ом}$
от 1 к 2	$Z < 1.4 \text{ кОм}$	от 2 к 1	$Z > 1.8 \text{ кОм}$
от 0 к 1	$Z < 22.4 \text{ кОм}$	от 1 к 0	$Z > 29.9 \text{ кОм}$

Режим фиксации диапазона

В некоторых случаях автоматический выбор диапазона неудобен, например, измерения, производимые вблизи границы диапазона, приводят к частому его изменению. Или мешают непрерывные запуски прибора в попытке измерить практически бесконечный импеданс после извлечения из фиксатора компонента. Прибор будет автоматически выбирать диапазон 0 (или диапазон 1 для 100 кГц), а затем вновь возвращаться к требуемому диапазону после подключения тестируемого прибора к фиксатору. Кроме того, фиксация диапазона измерения поможет в случае, когда требуется высокая скорость проведения измерения, или измерения производятся для партии тестируемых приборов с близкими значениями измеряемых параметров.

Имеется два способа фиксации диапазона.

1. Текущий диапазон может быть просто зафиксирован нажатием кнопки **HOLD**. При этом светодиодный индикатор **HOLD** извещает, что прибор находится в режиме фиксированного диапазона измерения.
2. Диапазон измерения может быть также введен непосредственно в режиме ввода **ENTRY**. Выберите режим ввода **ENTRY** с помощью кнопки **DISP**, а затем нажмите кнопку **HOLD**. На левом дисплее появится сообщение "range" (диапазон), а на правом – номер текущего диапазона (0-3). Введите номер требуемого диапазона и нажмите кнопку **ENTER**.

Используйте кнопку **DISP** для возврата дисплея к требуемому отображению. Светодиодный индикатор **HOLD** будет включен. При попытке ввода неверного значения диапазона прибор оповестит об этом звуковым сигналом и сообщением "range error" (ошибка диапазона), а изменение диапазона произведено не будет. Диапазон 0 недоступен при установке частоты 100 кГц. При попытке его ввода в этом случае прибор оповестит об этом звуковым сигналом и сообщением "r-f error" (ошибка диапазон-частота). Для возврата прибора к режиму автоматического выбора диапазона просто нажмите кнопку **HOLD**.

Режим постоянного напряжения (CONS)

Иногда при измерении с использованием специфического выходного напряжения невозможно использовать сопротивление источника соответствующее диапазону измерения. В этом случае нажмите кнопку **CONS** для выбора фиксированного импеданса источника 25 Ом. При этом напряжение на тестируемом приборе будет всегда постоянным для большинства приборов, если их импеданс значительно больше 25 Ом. При измерении в режиме постоянного напряжения выбор диапазона прибором производится из критерия избежания перегрузки. Однако при этом в два раза возрастает погрешность измерения. Для получения подробной информации обратитесь к главе 2 "Погрешности и калибровка" в части 2 настоящего руководства по эксплуатации. Таблицы 3-6 и 3-7 содержат сведения о диапазонах импеданса, используемых в режиме постоянного напряжения.

В некоторых случаях возможно отображение сообщения "over load" (перегрузка). Это нормально, если прибор находится в режимах постоянного напряжения и фиксированного диапазона измерения. Для выхода из этой ситуации выберите больший диапазон или включите режим автоматического выбора диапазона.

Таблица 3-6. Диапазоны измерения и диапазоны импеданса для режима постоянного напряжения

Диапазон	Сопротивление источника	Сопротивление	Индуктивность	Емкость
3	25.0 Ом	10 мкОм÷ 360 Ом	.0001 мкГн÷ (57/f) Гн	99999 мкФ÷ (442/f) мФ
2	25.0 Ом	360 Ом÷ 5.76 кОм	(57/f) Гн÷ (917/f) Гн	(442f) мФ÷ (27.7/f) мкФ
1	25.0 Ом	5.76 кОм÷ 90.0 кОм	(917f) Гн÷ (1432/f) Гн	(27.7/f) мкФ÷ (1.77/f) мкФ
0	25.0 Ом	90.0 кОм÷ 2000 МОм	(1432f) Гн÷ 99999 Гн	(1.77/f) мкФ÷ 0.0001 пФ

Таблица 3-7. Критерий для автоматического выбора диапазона и режима постоянного напряжения

В направлении меньшего импеданса		В направлении большего импеданса	
Изменение диапазона	Импеданс	Изменение диапазона	Импеданс
от 2 к 3	$Z < 315 \text{ Ом}$	от 3 к 2	$Z < 400 \text{ Ом}$
от 1 к 2	$Z < 5.04 \text{ кОм}$	от 2 к 1	$Z < 6.4 \text{ кОм}$
от 0 к 1	$Z < 78.8 \text{ кОм}$	от 1 к 0	$Z < 100 \text{ кОм}$

Последовательные и параллельные эквивалентные схемы

Как показано на рис. 3-2, любой неидеальный компонент из-за своих свойств имеет различные значения параметров для параллельной и последовательной эквивалентной схемы. Величиной характеризующей индуктивность является добротность, обозначаемая Q и равная отношению величины реактивной (индуктивной) составляющей импеданса к его активной (резистивной) составляющей. По аналогии с индуктивностью в таблице 3-8 для емкости в качестве характеризующей величины приведена добротность. Хотя, как правило, емкость характеризуют величиной обратной добротности Q [2], называемой тангенсом угла потерь и обозначаемой D . Когда значение Q для индуктивности снижается до 10, а Q для резистора или D для конденсатора возрастает до 0.1, их величины для параллельной и последовательной эквивалентной схемы начинают различаться. Для большинства компонентов предоставляются характеристики для последовательной эквивалентной схемы. Производители компонентов, как правило, указывают какую эквивалентную схему нужно использовать при измерении из продукции.

Таблица 3-8. Добротность для различных эквивалентных схем

Компонент	Эквивалентная схема	Q
Индуктивность	последовательная	$\omega L/R$
	параллельная	$R_p/\omega L_p$
Емкость	последовательная	$1/\omega CR$
	параллельная	$\omega C_p R_p$

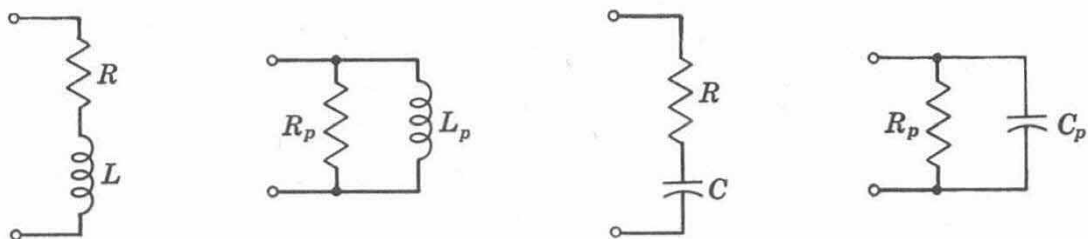


Рисунок 3-2. Последовательные и параллельные эквивалентные схемы

Режимы отображения дисплея

Кнопка **DISP** позволяет выбрать один из пяти режимов отображения дисплея. Выбор осуществляется повторными нажатиями кнопки **DISP**, пока не загорится соответствующий требуемому режиму светодиодный индикатор. Режимы имеют следующее назначение.

VALUE: режим отображения значения параметр, измеренного для исследуемого устройства; этот режим загружается при включении питания прибора.

DEV: при этом режиме на дисплее отображается отклонение текущего измеренного значения от предварительно введенного опорного значения. Для выбора этого режима повторными нажатиями кнопки **DISP** включите светодиодный индикатор **DEV**. Режим отображения отклонения от предварительно введенного значения недоступен при автоматическом выборе диапазона измерения, или если предварительно не введено номинальное (опорное) значение для сравнения.

Ввод номинального значения для сравнения осуществляется следующим образом.

² W. L. Everett and G. E. Anner, *Communication Engineering* (3rd edition), McGraw-Hill, 1956.

1. Повторно нажимайте кнопку **DISP**, пока не загорится светодиодный индикатор **ENTRY**.
2. Выберите режим измерения с помощью кнопок выбора режимов измерения **PARAMETER** на передней панели.
3. На левом алфавитно-цифровом дисплее будет отображено текущее, ранее сохраненное в памяти номинальное значение.
4. Введите новое номинальное значение при помощи цифровых кнопок.
5. Нажмите кнопку соответствующую нужной размерности [**Q**, **μH**, **pF**, **Ω**], [**kΩ**, **mH**, **nF**] или [**MΩ**, **H**, **μF**].

% DEV: при этом режиме на дисплее отображается процентное отклонение текущего измеренного значения от предварительно введенного опорного значения. Этот режим также недоступен при автоматическом выборе диапазона измерения, или если предварительно не введено номинальное (опорное) значение для сравнения.

ENTRY: режим отображения **ENTRY** предназначен для ввода различных данных: номинальных значений, условий измерения или данных калибровки. При ошибочном вводе или превышении допустимых значений диапазона прибор оповестит об этом звуковым сигналом и сообщением "range error" (ошибка диапазона).

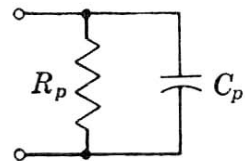
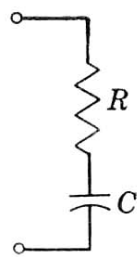
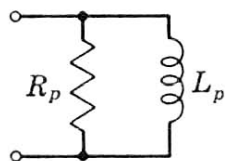
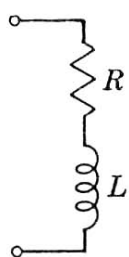
PROTEK 9216A

цифровой измеритель LCR

РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

Часть 2

Дополнительные возможности



Содержание

Глава 1. Теоретические основы измерения параметров компонентов	4
Определение активной и реактивной составляющих	4
Типы компонентов	4
Единицы измерения	5
Параллельная и последовательная эквивалентные схемы	6
Добротность	6
Глава 2. Погрешности и калибровка	8
Характеристики погрешности	8
Основная формула для расчета погрешности	8
Определение погрешности для различных режимов измерений	10
Погрешность для $R+Q$	10
Погрешность для $L+Q$	10
Погрешность для $C+D$	11
Погрешность для $C+R$	13
Погрешность измерения при фиксированном неоптимальном диапазоне	13
Проверка характеристик прибора	14
Проверки работоспособности	15
Необходимое оборудование	15
Проверка передней панели	15
Самопроверка	15
Выходное напряжение	16
Измерение сопротивления	16
Измерение емкости	17
Проверка характеристик	17
Необходимое оборудование:	17
Проверка точности частоты выходного сигнала	18
Проверка точности амплитуды выходного сигнала	18
Проверка погрешности измерения импеданса	18
Калибровка	22
Введение	22
Доступ к калибровке	22
"Калбайты"	22
Требуемые условия и оборудование	24
Калибровка амплитуды	24

Калибровка частоты	26
Калибровка образцовыми резисторами.....	26
Глава 3. Дистанционное управление измерителем LCR.....	28
Использование интерфейсов	28
Интерфейс RS232	28
Стандарт интерфейса RS232.....	28
Настройки при использовании интерфейса RS-232.....	29
Дополнительный интерфейс GPIB (IEEE 488).....	30
Стандарт интерфейса IEEE-488	30
Настройки при использовании интерфейса IEEE-488.....	33
Дополнительный интерфейс сортировочного устройства	33
Введение	33
Техническое описание	34
Электрическое описание	35
Использование команд.....	35
Перечень команд	36
Индикация состояния и сообщения об ошибках	38
Описание регистров состояния.....	38
Байт состояния (суммарный регистр)	38
Регистр стандартного события	39
Регистр состояния LCR.....	39
Глава 4. Сортировка электронных компонентов	40
Режимы сортировки.....	40
Примеры сортировки.....	41
Сортировка по отклонению от номинала.....	41
Сортировка по различным номиналам	41
Сортировка по одному номиналу с ассиметричными отклонениями	42
Общие процедуры	42
Настройка корзин	43
Процедуры.....	43
Начальная установка	43
Номинальное значение для корзин $0 \div 7$	43
Предельные отклонения для корзин $0 \div 7$	44
Параметры для корзин 8 и 9	44
Включение режима сортировки	44
Использование технологической карты и редактирование настроек	44

Резюме настроек режимов сортировки	45
Схема сортировки ГОДЕН/НЕТ	45
Схема сортировки по отклонению от номинала	46
Схема сортировки по номиналу	46
Глава 5. Устранение неисправностей	47
Неполадки общего характера	47
Замечания по включению питания прибора	47
Процедура сброса	47
Проверка внутреннего предохранителя	47
Проверка предохранителя внешнего источника смещения	48
Сообщения об ошибках	48
Ошибки управления	48
Ошибки самопроверки прибора	49
Ошибки калибровки	50
Возможные неполадки GPIB	51
Возможные неполадки RS-232	51
Приложение	52
Ведомость проверки характеристик PROTEK 9216A	52

Теоретические основы измерения параметров компонентов

Свойства резисторов, индуктивностей и конденсаторов

Измерения, производимые цифровым измерителем LCR PROTEK 9216A, основываются на определениях импеданса и свойствах дискретных компонентов, используемых для получения требуемого импеданса в электронных схемах.

Определение активной и реактивной составляющих

Синусоидальное напряжение и ток с заданной частотой f в электрической цепи могут быть представлены в комплексном или векторном виде следующим образом

$$U(t) = |U| \cos(\omega t + \theta_v) \quad (1a)$$

$$= |U| e^{j(\omega t + \theta_v)} = (|U| e^{j\theta_v}) e^{j\omega t} \quad (1b)$$

$$I(t) = |I| \cos(\omega t + \theta_i) \quad (2a)$$

$$= |I| e^{j(\omega t + \theta_i)} = (|I| e^{j\theta_i}) e^{j\omega t} \quad (2b)$$

где $j = \sqrt{-1}$, $\omega = 2\pi f$, а θ_v и θ_i – это соответственно фазы напряжения и тока относительно опорного сигнала с частотой f . Импедансом произвольного компонента цепи называется комплексное число Z , с размерностью Ом, определяемое как отношение напряжения на контактах компонента к току, протекающему через компонент:

$$Z = Z(\omega) = \frac{U(t)}{I(t)} = \frac{|U| e^{j(\omega t + \theta_v)}}{|I| e^{j(\omega t + \theta_i)}} = \frac{|U|}{|I|} e^{j(\theta_v - \theta_i)} \quad (3)$$

Типы компонентов

Из уравнения (3) видно, что при равенстве фаз тока, протекающего через компонент, и напряжения на нем значение импеданса становится действительным числом:

$$Z = \frac{|U|}{|I|} e^{j(0)} = \frac{|U|}{|I|} \quad (4)$$

В этом случае импеданс является чисто резистивным, а компонент будет идеальным резистором.

Если фаза напряжения на 90 градусов ($\pi/2$ радиана) опережает фазу тока, то импеданс будет иметь положительное мнимое значение:

$$Z = \frac{|U|}{|I|} e^{j(\pi/2)} = j \frac{|U|}{|I|} \quad (5)$$

В случае, когда импеданс имеет положительное мнимое значение, он является чисто индуктивным, а компонент будет идеальной индуктивностью. Импеданс идеальной индуктивности L является линейной функцией частоты и выражается формулой $Z_L = j\omega L$.

Если фаза напряжения на 90 градусов ($\pi/2$ радиана) отстает от фазы тока, то импеданс будет иметь отрицательное мнимое значение:

$$Z = \frac{|U|}{|I|} e^{j(-\pi/2)} = -j \frac{|U|}{|I|} \quad (6)$$

В случае, когда импеданс имеет отрицательное мнимое значение, он является чисто емкостным, а компонент будет идеальной емкостью. Импеданс идеальной емкости C является функцией частоты обратной линейной и выражается формулой $Z_C = 1/j\omega C = -j/ \omega C$.

Реальные компоненты цепей никогда не бывают чисто резистивными, индуктивными или емкостными. Реальные емкости и индуктивности имеют резистивную составляющую, и их импеданс не может иметь чисто линейную зависимость от частоты или не зависеть от напряжения. В общем случае выражение для импеданса, следовательно, содержит действительную, резистивную составляющую R и реактивную составляющую X :

$$Z = R + jX, \quad (7)$$

где $X = \omega L$ для индуктивности или $X = -1/\omega C$ для емкости. Поскольку количественно X выражается отношением напряжения к току, то имеет размерность Ом. Часто импеданс представляют в скалярной форме, в Омах, в виде действительного числа со значением, вычисляемым по формуле $|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$.

Единицы измерения

Основной единицей измерения сопротивления является Ом (Ом, международное обозначение – Ω (омега)). На резисторе 1 Ом падает напряжение 1 В при протекании через него тока 1 А.

Основной единицей измерения индуктивности является генри (Гн, международное обозначение – Н). При переменном токе 1 А в индуктивности 1 Гн на ней индуцируется переменное напряжение численно равное произведению 2π на частоту в герцах.

Основной единицей измерения емкости является фарада (Ф, международное обозначение – F). При переменном токе 1 А на выводах емкости 1 Ф присутствует переменное напряжение численно равное величине обратной произведению 2π на частоту в герцах.

Параллельная и последовательная эквивалентные схемы

Импеданс реальных резисторов, конденсаторов и индуктивностей является комбинацией сопротивления, индуктивности и емкости. В общем виде модели реальных конденсаторов и индуктивностей могут быть представлены в виде последовательной или параллельной эквивалентных цепей, как показано на рис. 1-1.

Например, импеданс индуктивности в комплексном виде выражается следующим образом

$$Z = R + jX = R + j\omega L \quad (\text{последовательная эквивалентная схема}) \quad (8a)$$

$$= \frac{R_p \cdot j\omega L_p}{R_p + j\omega L_p} = \frac{R_p + jR_p(R_p / \omega L_p)}{1 + (R_p / \omega L_p)^2} \quad (\text{параллельная эквивалентная схема}) \quad (8б)$$

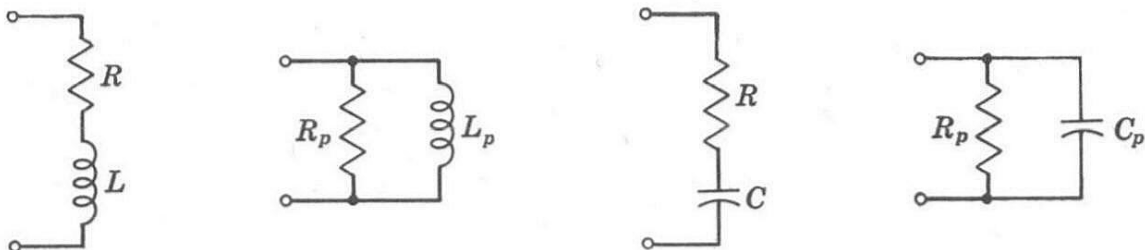


Рисунок 1-1. Эквивалентные схемы для индуктивности емкости

Импеданс емкости в комплексном виде выражается как

$$Z = R + jX = R - j / \omega C \quad (\text{последовательная эквивалентная схема}) \quad (9a)$$

$$= \frac{R_p \cdot 1 / j\omega C_p}{R_p + 1 / j\omega C_p} = \frac{R_p}{1 + j\omega C_p R_p} = \frac{R_p(1 - j\omega C_p R_p)}{1 + (\omega C_p R_p)^2} \quad (\text{параллельная эквивалентная схема}) \quad (9б)$$

Добротность

Изначально, добротность Q определяется для индуктивности как величина, характеризующая эффективность запасаения в ней энергии при протекании через нее переменного тока. Математически это выражается так [1]

$$Q = 2\pi (\text{макс. запасенная энергия}) \div (\text{энергия потерь, деленная на частоту}) = \quad (10a)$$

$$= 2\pi f (\text{макс. запасенная энергия}) \div (\text{средняя мощность потерь}) \quad (10б)$$

Поскольку средняя мощность потерь в цепи из индуктивности с последовательным резистором R равна $|I|^2 R$, а максимальная энергия, запасенная в индуктивности L равна $L|I|^2$, то добротность индуктивности приобретает вид

$$Q = \omega L / R \quad (11a)$$

Из уравнений (8a) и (8б) параметры R и L последовательной эквивалентной схемы можно выразить через параметры параллельной эквивалентной схемы R_p и L_p .

¹ W. L. Everett and G. E. Anner, *Communication Engineering*, McGraw-Hill, New York, 1956.

Подставляя полученные выражения в уравнение (10а), получим следующее выражение для добротности

$$Q = R_p / \omega L_p \quad (116)$$

Хотя понятие добротности изначально было определено для индуктивности, его можно распространить для оценки эффективности запасания энергии в конденсаторе через частоту и параметры элементов эквивалентной схемы. Таким образом, при представлении конденсатора в виде последовательного сопротивления R и емкости C , как показано на рис. 1-1, то из (10а) получаем

$$Q = 1 / \omega CR \quad (12а)$$

Из уравнений (9а) и (9б) параметры R и C последовательной эквивалентной схемы можно выразить через параметры параллельной эквивалентной схемы R_p и C_p . Подставляя полученные выражения в уравнение (12а), получим следующее выражение для добротности конденсатора

$$Q = \omega C_p R_p \quad (12б)$$

Используя добротность, импеданс индуктивности может быть представлен в виде

$$Z = R + j\omega L = R(1 + jQ) = \omega L(j + 1/Q) \quad (13а)$$

а параметры последовательной эквивалентной схемы для индуктивности могут быть выражены через параметры для ее же параллельной эквивалентной схемы как

$$R = \frac{R_p}{1 + Q^2}, L = \frac{Q^2 L_p}{1 + Q^2} \quad (13б)$$

Импеданс конденсатора в терминах добротности будет выглядеть так

$$Z = R + 1/j\omega C = R(1 - jQ) = \frac{1}{\omega C}(D - j) \quad (14а)$$

а параметры последовательной эквивалентной схемы для конденсатора могут быть выражены через параметры для его же параллельной эквивалентной схемы как

$$R = \frac{R_p}{1 + Q^2}, C = (1 + D^2)C_p \quad (14б)$$

Погрешности и калибровка

Оценка и контроль погрешности

На точность цифрового измерителя LCR PROTEK 9216A влияют несколько факторов. В этой главе приводятся формулы для оценки погрешностей для различных измерений прибором, а также процедуры его калибровки.

Характеристики погрешности

ЗАМЕЧАНИЕ: PROTEK 9216A обеспечивает заявленные в этой главе погрешности при следующих условиях:

- (а) предварительный прогрев прибора не менее 30 минут;
- (б) температура $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$;
- (в) использование штатного фиксатора компонентов;
- (г) выполнены калибровки нуля для закороченной и для разомкнутой цепи.

Кроме того, измеряемый компонент должен иметь следующие характеристики: $D < 0.1$ для конденсатора, $Q < 0.1$ для резистора, $Q > 10$ для индуктивности.

Основная формула для расчета погрешности

Погрешность измерения является функцией базовой погрешности импеданса от диапазона измерения для определенной частоты, скорости измерения, амплитуды сигнала и импеданса тестируемого прибора. Базовая погрешность импеданса может быть определена из приведенных ниже графиков. К дополнительным факторам, влияющим на погрешность, относятся условия измерения и импеданс тестируемого прибора. Из выше изложенного можно рассчитать погрешность для конкретного измерения при оптимальном диапазоне измерения. Влияние на погрешность неоптимального диапазона будет показано ниже.

Основная формула для расчета погрешности импеданса имеет следующий вид

$$\text{погрешность в \%} = \pm [A \times K_i \times K_U + 100 \times (K_h + K_j)], \text{ где} \quad (1)$$

A - базовая погрешность импеданса, приведенная на рис. 2-1, (ее значение необходимо увеличить вдвое, если прибор находится в режиме постоянного напряжения). Рисунок 2-1 содержит данные для наилучшей погрешности, достигаемой при измеряемом импедансе больше $\frac{1}{4}$ и меньше 4-х кратного сопротивления источника, а также при частоте тестирующего сигнала не более 1 кГц.

K_i - коэффициент времени интегрирования приведен в таблице 2-1.

K_U - коэффициент погрешности выходного напряжения приведен в таблице 2-2. Обратите внимание, из таблицы 2-2 следует, что для основных фиксированных значений выходных напряжений ($1.0 V_{эфф.}$, $0.5 V_{эфф.}$ и $0.25 V_{эфф.}$) K_U определен равным 1.0.

K_h , K_l - поправочные коэффициенты для используемого диапазона приведены в таблице 2-3. Обратите внимание, из таблицы 2-3 следует, что значение K_l теряет значимость при импедансе выше 100 Ом, а K_h теряет значимость при импедансе ниже 1 кОм, оба при любой частоте.

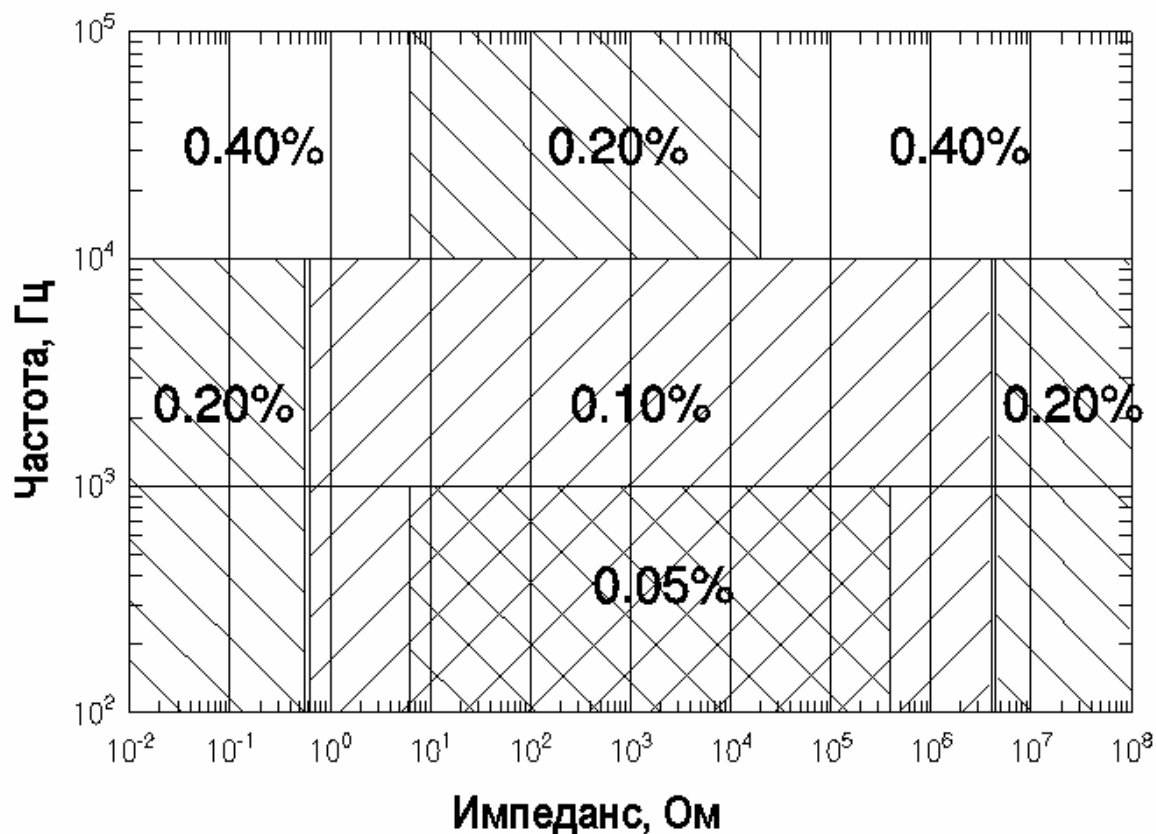


Рисунок 2-1. Базовая погрешность импеданса

Таблица 2-1. Коэффициент погрешности времени интегрирования, K_i

Скорость измерения	Частота	Z_m	K_i
низкая (SLOW), средняя (MED)	любая	любое	1
высокая (FAST)	$100 \text{ Гц} \div 1 \text{ кГц}$	$6.25 \text{ Ом} < Z_m < 400 \text{ кОм}$	3
		прочие	2

Таблица 2-2. Коэффициент погрешности выходного напряжения, K_U

U _{вых.} (В _{эфф.})	K_U
0.55 ÷ 1.0	1/U _{вых.}
0.3 ÷ 0.5	0.5/U _{вых.}
0.15 ÷ 0.25	0.25/(U _{вых.}
0.10	0.11/U _{вых.}

Таблица 2-3. Коэффициенты погрешности используемого диапазона, K_i и K_h

Частота	K_i	K_h
100 Гц, 120 Гц, 1 кГц	(1 МОм/Z _м)	(Z _м /2 ГОм)
10 кГц	(1 МОм/Z _м)	(Z _м /1.5 ГОм)
100 кГц	(4 МОм/Z _м)	(Z _м /50 МОм)

Определение погрешности для различных режимов измерений

Погрешность для R+Q

При режиме измерения R+Q базовая погрешность импеданса A в формуле погрешности импеданса может быть определена непосредственно из рисунка 2-1, если импеданс предполагается резистивным. Погрешность сопротивления вычисляется по формуле (1), приведенной ранее, с последующим умножением вычисленного таким образом значения базовой погрешности сопротивления на коэффициент $(1 + |1/Q|)$, если измеренное абсолютное значение Q больше 0.1. Обозначим для этого случая базовую погрешность сопротивления, как A_r . Затем вычислим погрешность измерения Q по формуле

$$\text{погрешность } Q = \pm [(A_r/100) \times (1+Q^2)] \quad (2)$$

Обратите внимание, что погрешность Q определена как абсолютная, а не относительная в процентах.

Погрешность для L+Q

Базовую погрешность импеданса изображенную на рис. 2-1 можно использовать при измерении индуктивности, учитывая, что под импедансом понимается $2\pi f L$, где f – это тестовая частота в герцах, а L – индуктивность в генри. Для удобства рисунок 2-2 с нанесенными линиями постоянной индуктивности является трансформированным рисунком 2-1. Аналогично, таблице 2-3 для импеданса индуктивности ниже также представлена таблица 2-4. Обратите внимание, что из таблицы 2-4 коэффициент погрешности для используемого диапазона K_i отрицателен для индуктивностей выше 15.9/f Гн, а K_h отрицателен для индуктивностей ниже 159/f Гн.

Погрешность измерения индуктивности рассчитывается по формуле (1), приведенной выше, как если бы измеренное абсолютное значение добротности было меньше 10, с последующим умножением вычисленного таким образом значения базовой погрешности на коэффициент $(1 + |1/Q|)$. Обозначим для этого случая базовую погрешность индуктивности, как A_L . Погрешность для Q вычисляется по формуле (2) с заменой A_i на A_L .

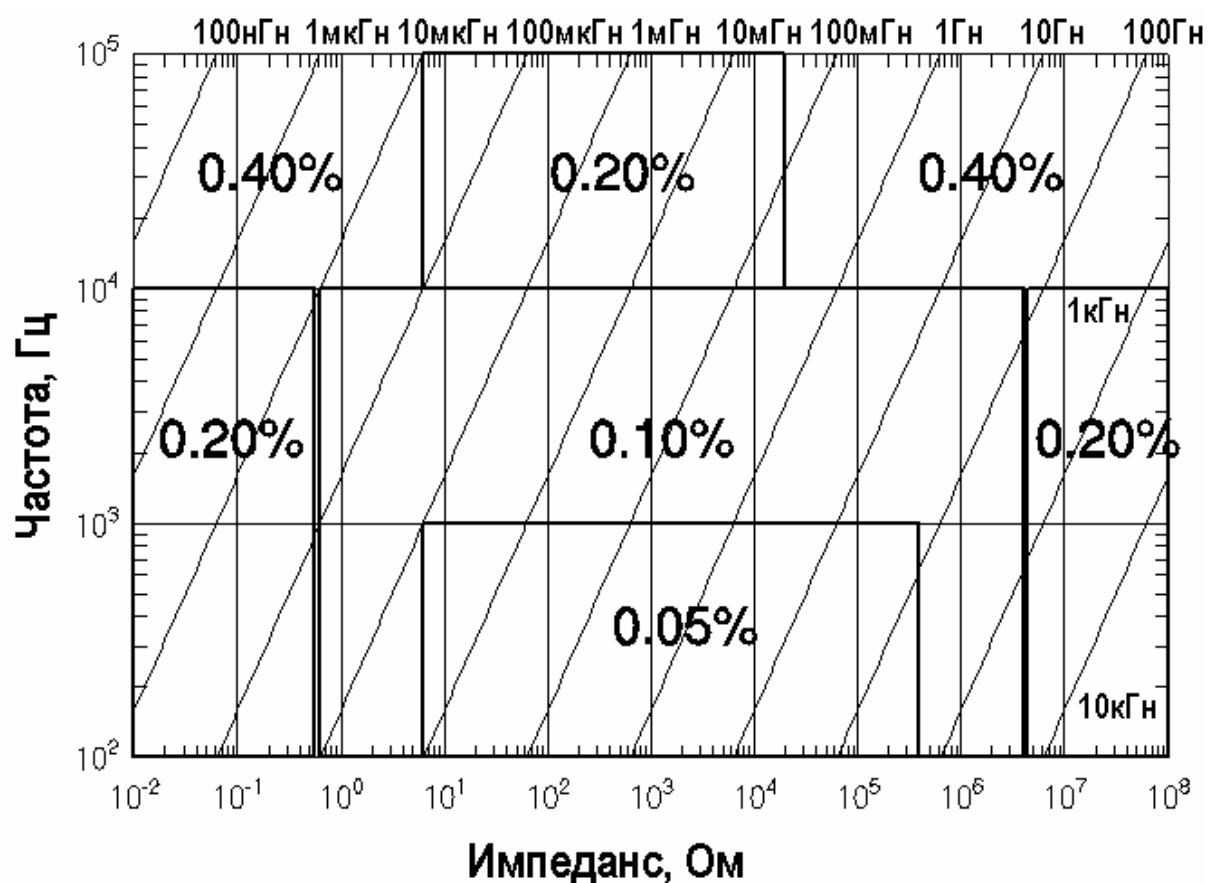


Рисунок 2-2. Базовая погрешность импеданса для индуктивностей

Таблица 2-4. Коэффициенты погрешности используемого диапазона, K_i и K_h для индуктивностей

Частота	K_i	K_h
100 Гц, 120 Гц	(1 мкГн/ L_m)	($L_m/2.6$ МГн)
1 кГц	(0.1 мкГн/ L_m)	($L_m/260$ кГн)
10 кГц	(0.02 мкГн/ L_m)	($L_m/10$ кГн)
100 кГц	(0.02 мкГн/ L_m)	($L_m/100$ Гн)

Погрешность для C+D

Базовую погрешность импеданса изображенную на рис. 2-1 можно также использовать при измерении емкости, учитывая, что под импедансом понимается $1/2\pi f C$, где f – это тестовая частота в герцах, а C – емкость в фарадах. Для удобства рисунок 2-3 с нанесенными линиями постоянной емкости является трансформированным рисунком 2-1. Аналогично, таблице 2-3 для импеданса емкости ниже также представлена таблица 2-5. Обратите внимание, что из таблицы 2-5 коэффициент погрешности для используемого диапазона K_i отрицателен для емкостей ниже $1590/f$ мкФ, а K_h отрицателен для емкостей выше $159/f$ мкФ.

Погрешность измерения емкости рассчитывается по формуле (1), приведенной выше, как если бы измеренное значение коэффициента (тангенс угла потерь) D

было меньше 0.1, с последующим умножением вычисленного таким образом значения базовой погрешности на коэффициент $(1 + D)$. Обозначим для этого случая базовую погрешность емкости, как A_c . Погрешность для D вычисляется по следующей формуле

$$\text{погрешность } D = \pm [A_c/100] \quad (3)$$

Обратите внимание, что погрешность D определена как абсолютная, а не относительная в процентах.

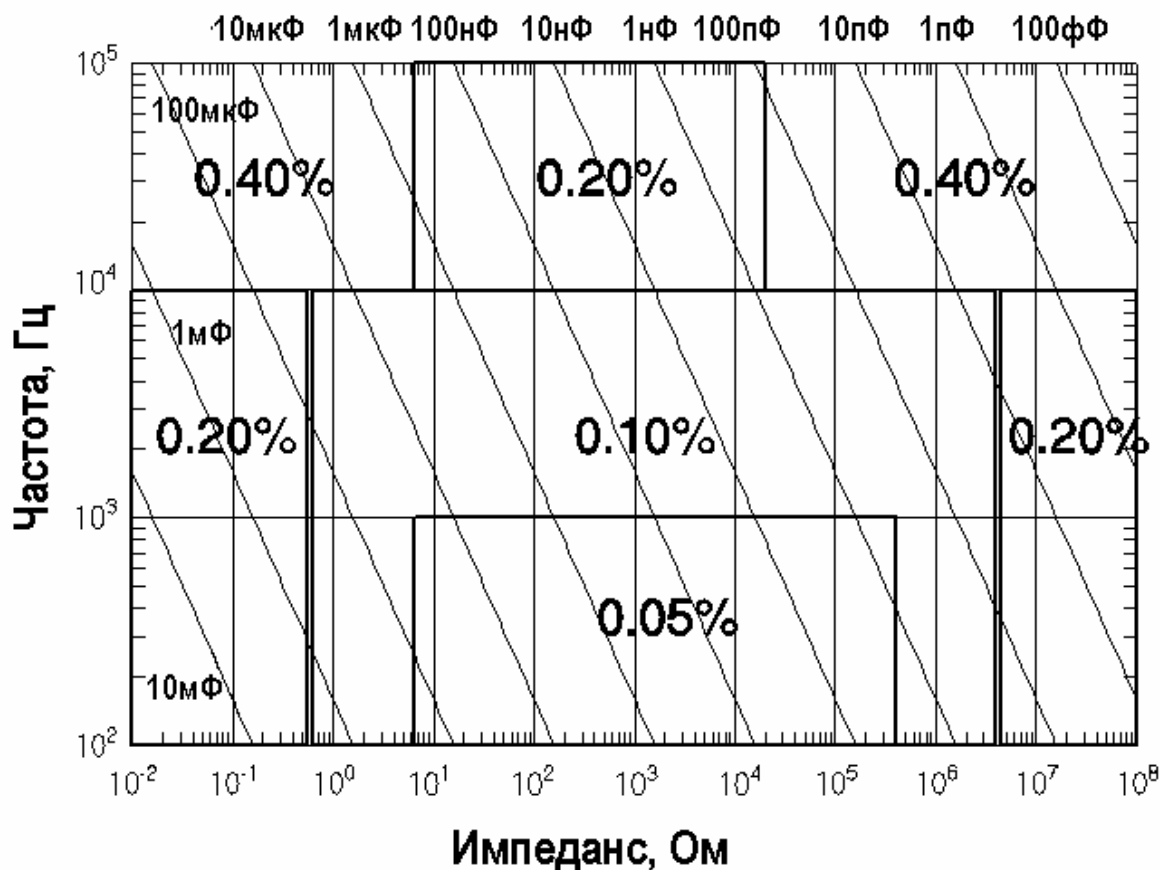


Рисунок 2-3 Базовая погрешность импеданса для емкостей

Таблица 2-5. Коэффициенты погрешности используемого диапазона, K_h и K_l для емкостей

Частота	K_l	K_h
100 Гц, 120 Гц	(2 пФ/ C_m)	($C_m/1600$ мФ)
1 кГц	(0.1 пФ/ C_m)	($C_m/160$ мФ)
10 кГц	(0.01 пФ/ C_m)	($C_m/16$ мФ)
100 кГц	(0.02 пФ/ C_m)	($C_m/200$ мкФ)

Погрешность для C+R

Базовую погрешность импеданса изображенную на рис. 2-1 можно также использовать при измерении емкости, учитывая, что под импедансом понимается $1/2\pi f C$, где f – это тестовая частота в герцах, а C – емкость в фарадах. Для удобства рисунок 2-3 с нанесенными линиями постоянной емкости является трансформированным рисунком 2-1. Аналогично, таблице 2-3 для импеданса емкости при режиме измерения C+R ниже также представлена таблица 2-6. Обратите внимание, что из таблицы 2-6 коэффициент погрешности для используемого диапазона K_i отрицателен для емкостей ниже $1590/f$ мкФ.

Таблица 2-6. Коэффициенты погрешности используемого диапазона, K_h и K_i для емкостей (режим C+R)

Частота	K_i	K_h
100 Гц, 120 Гц	$(2 \text{ пФ}/C_m)$	$(C_m/2000 \text{ мФ})$
1 кГц	$(0.1 \text{ пФ}/C_m)$	$(C_m/200 \text{ мФ})$
10 кГц	$(0.01 \text{ пФ}/C_m)$	$(C_m/10 \text{ мФ})$
100 кГц	$(0.01 \text{ пФ}/C_m)$	$(C_m/100 \text{ мкФ})$

Для малых значений D ($D < 0.1$) погрешность измерения емкости при режиме измерения C+R рассчитывается по формуле (1), приведенной выше, а погрешность измерения сопротивления вычисляется по следующей формуле

$$\text{погрешность } R \text{ в } \% = \pm [A_c \times (1 + 1/D)] \quad (4)$$

где A_c – погрешность измерения емкости (см. выше), а коэффициент

$$D = R/2\pi f C \quad (5)$$

Для значений $D > 0.1$ сначала необходимо рассчитать погрешность импеданса. Для этого в свою очередь сначала рассчитывают полный импеданс тестируемого прибора с учетом его емкости и сопротивления соответственно для последовательной или параллельной схемы. Затем по графику определяют погрешность импеданса, обозначаемую далее как A_z . Погрешности для C и R вычисляются из погрешности импеданса по следующим формулам:

$$\text{погрешность } C \text{ в } \% = \pm [A_z \times (1 + |D|)] \quad (6)$$

$$\text{погрешность } R \text{ в } \% = \pm [A_z \times (1 + 1/|D|)] \quad (7)$$

Погрешность измерения при фиксированном неоптимальном диапазоне

При измерении параметров компонента выходящих за пределы номинального диапазона (в случае режима фиксации диапазона) точность измерения снижается. За номинальный диапазон в данном случае принимается диапазон с границами приблизительно в четыре раза выше и ниже величины номинального импеданса.

Диапазон	Границы номинального диапазона
R3	6.25 Ом ÷ 100 Ом
R2	100 Ом ÷ 1.6 кОм
R1	1.6 кОм ÷ 25.6 кОм
R0 (100 Гц ÷ 10 кГц)	25.6 кОм ÷ 400 кОм
(диапазон R0 недоступен при частоте 100 кГц)	

Компоненты, измеренные в режиме автоматического выбора диапазона, имеют единственные значения коэффициентов (K_h , K_l) для оптимального диапазона при любой частоте.

Для тестируемых приборов, измеряемых при режиме фиксированного диапазона, значения коэффициентов K_h и K_l будут различными для каждого диапазона. Их значения вычисляются по значениям параметров приведенных в таблицах с 2-7 по 2-9 соответственно для измерений сопротивления, индуктивности и емкости.

Таблица 2-7. Параметры для расчета K_l и K_h при измерениях сопротивления

	$R_l = K_l \times Z_m$				$R_h = K_h \times Z_m$			
Частота	R3	R2	R1	R0	R3	R2	R1	R0
100, 120, 1 кГц	1 МОм	0.02 Ом	0.2 Ом	4 Ом	400 кОм	6.5 МОм	100 МОм	2 ГОм
10 кГц	1 МОм	0.02 Ом	0.2 Ом	4 Ом	400 кОм	6.5 МОм	100 МОм	1.5 ГОм
100 кГц	4 МОм	0.03 Ом	0.4 Ом	---	200 кОм	3 МОм	50 МОм	---

Таблица 2-8. Параметры для расчета K_l и K_h при измерениях индуктивности

	$L_l = K_l \times L_m$				$L_h = K_h \times L_m$			
Частота	R3	R2	R1	R0	R3	R2	R1	R0
100, 120 Гц	1 мкГн	20 мкГн	300 мкГн	5 МГн	630 Гн	10 кГн	160 кГн	2.6 МГн
1 кГц	1 мкГн	20 мкГн	300 мкГн	5 МГн	630 Гн	10 кГн	160 кГн	2.6 МГн
10 кГц	1 мкГн	20 мкГн	300 мкГн	5 МГн	630 Гн	10 кГн	160 кГн	2.6 МГн
100 кГц	1 мкГн	20 мкГн	300 мкГн	5 МГн	630 Гн	10 кГн	160 кГн	2.6 МГн

Таблица 2-9. Параметры для расчета K_l и K_h при измерениях емкости

	$C_l = K_l \times C_m$				$C_h = K_h \times C_m$			
Частота	R3	R2	R1	R0	R3	R2	R1	R0
100, 120 Гц	4 нФ	240 пФ	16 пФ	2 пФ	1600 мФ	80 мФ	6.7 мФ	400 мкФ
1 кГц	400 пФ	24 пФ	1.6 пФ	0.1 пФ	160 мФ	8 мФ	670 мкФ	40 мкФ
10 кГц	40 пФ	2.4 пФ	0.16 пФ	0.01 пФ	16 мФ	800 мкФ	40 мкФ	2.6 мкФ
100 кГц	8 пФ	2.4 пФ	0.02 пФ	---	200 мкФ	80 мкФ	4 мкФ	---

Проверка характеристик прибора

Процедуры, описанные в этом разделе, позволяют измерить характеристики PROTEK 9216A и сравнить их с характеристиками, приведенными в части 1 данного руководства по эксплуатации. Сначала в разделе описана процедура проверки общей работоспособности прибора. Далее приводятся процедуры проверки особо важных характеристик PROTEK 9216A. Результаты всех проверок следует заносить ведомость проверки характеристик, образец которой приводится в конце руководства по эксплуатации.

Проверки работоспособности

Описываемые ниже в этом параграфе простые процедуры предназначены только для проверки работоспособности PROTEK 9216A и не могут быть использованы для проверки точности прибора.

Необходимое оборудование

Оборудование:	Требуемые характеристики:	Рекомендуемая модель:
аналоговый осциллограф с пробниками $\times 10$, 10МГц	полоса пропускания 100 МГц	Tektronix 2445
резистор 24.9 Ом	0.1%	Dale CMF55 или аналог
резистор 402 Ом	0.1%	Dale CMF55 или аналог
резистор 6.34 кОм	0.1%	Dale CMF55 или аналог
резистор 100.0 Ом	0.1%	Dale CMF55 или аналог
конденсатор 22 нФ	1% NPO	Murata Erie, серии RPE или аналог

Проверка передней панели

Проверка передней панели включает проверку цифровых дисплеев, светодиодных индикаторов и клавиатуры.

1. Включите питание прибора, удерживая нажатую кнопку **DISP**. При этом загорится один сегмент третьей цифры на левом дисплее.
2. Нажатиями кнопки поочередно проверьте свечение каждого сегмента (всего семь) и десятичной точки третьей и четвертой цифры левого дисплея, полное число сегментов – 16. Единоновременно должен гореть только один сегмент или десятичная точка. Нажатие кнопки **[↑]** возвращает к предыдущему сегменту дисплея.
3. Нажмите кнопку **[↓]** еще один раз (17-й раз), чтобы зажечь все сегменты 12 знаков и светодиод **AUTO**.
4. Повторными нажатиями кнопки **[↓]** проверьте свечение 25 светодиодов дисплея и 26 светодиодов кнопочной панели. Светодиоды будут загораться по одному сверху вниз и слева направо, сначала на дисплее, затем на кнопочной панели. В каждый момент времени должен гореть только один светодиод.
5. После проверки светодиодов далее нажимая на кнопки, расположенные на передней панели, проверьте соответствие отображаемого на дисплее кода кнопок. Все кнопки имеют персональный код, начиная с 01 для левой верхней кнопки. Код будет увеличиваться для каждой кнопки сверху вниз и слева направо.
6. Для выхода из этого режима выключите питание прибора.

Самопроверка

Процедура внутренней самопроверки позволяет выявить неполадки в работе PROTEK 9216A. Включите питание прибора. В течение трех последующих секунд на дисплее будут отображены версия прошивки внутренней программы ПЗУ и модель прибора. Далее на дисплее появится сообщение "tEst...." пока не будет завершена процедура самопроверки. После завершения самопроверки при исправности прибора на дисплее появится сообщение "tEst PASS". В противном случае появится сообщение об ошибке. Описание неисправностей

соответствующих сообщениям об ошибках приводятся в части 2 руководства, главе 5 "Поиск неисправностей".

Выходное напряжение

Данная процедура проверки позволяет проверить амплитуду напряжения выходного сигнала PROTEK 9216A при различных установках частоты и напряжения.

1. Установите для PROTEK 9216A частоту 1 кГц и постоянное напряжение 1 В. Установите у осциллографа коэффициент вертикального отклонения 1 В/дел. и коэффициент развертки 0.5 мс/дел. Подключите к нему пробник с коэффициентом ослабления $\times 10$.
2. Вставьте наконечник пробника в положительный контакт "+" фиксатора компонентов и подключите заземляющий зажим к защитному заземлению.
3. Осциллограф должен отобразить синусоиду с периодом в два деления по горизонтали и вертикальным размахом около 5.5 делений (1.0 В_{эфф.} соответствует двойной амплитуде 2.83 В). Форма сигнала должна быть стабильной.
4. Установите у PROTEK 9216A последовательно амплитуду 0.25 В и 0.10 В и убедитесь, что отклонение выходного сигнала не более 2% от номинального значения.
5. Снова установите амплитуду 1.0 В и изменяя у PROTEK 9216A частоту (100 Гц, 120 Гц, 10 кГц и 100 кГц) и настройки осциллографа убедитесь, что отклонение выходного сигнала не более 2% от номинального значения.

Измерение сопротивления

Данная процедура проверки позволяет проверить работоспособность PROTEK 9216A при измерении сопротивления при каждом диапазоне. Показание прибора должны укладываться в рамки $\pm$ (погрешность компонента + погрешность PROTEK 9216A).

1. Нажмите последовательно кнопки **RCL** → **[0]** → **ENTER** для загрузки в прибор начальных настроек производителя.
2. Проведите калибровки нуля закороченной и для разомкнутой цепи для используемого фиксатора. Подробное описание калибровки нуля приводится в части 1 руководства по эксплуатации.
3. Включите режим измерения R+Q, выберите последовательную эквивалентную схему, и тестовую частоту 1 кГц. Подключите резистор 24.9 Ом.
4. Убедитесь, что показание сопротивления прибором соответствуют реальному сопротивлению с отклонением не более $\pm 0.15\%$. Убедитесь, что показание добротности мало (около +0.0001 или меньше). Подключите резистор 402 Ом. Убедитесь, что показание прибором сопротивления соответствуют реальному сопротивлению с отклонением не более $\pm 0.15\%$. Убедитесь, что показание добротности мало (около +0.0001 или меньше).
5. Смените эквивалентную схему на параллельную. Подключите резистор 6.34 кОм. Убедитесь, что показание прибором сопротивления соответствуют реальному сопротивлению с отклонением не более $\pm 0.15\%$. Убедитесь, что показание добротности мало (около -0.0001 или меньше).

6. Подключите резистор 100 кОм. Убедитесь, что показание прибором сопротивления соответствуют реальному сопротивлению с отклонением не более $\pm 0.15\%$. Убедитесь, что показание добротности Q мало (около -0.0002 или меньше).

Измерение емкости

Данная процедура проверки позволяет проверить работоспособность PROTEK 9216A при измерении параметров конденсатора при различных частотах. Показание прибора, также как и ранее, должны укладываться в рамки $\pm$ (погрешность компонента + погрешность PROTEK 9216A).

1. После смены фиксатора проведите для используемого в данный момент фиксатора калибровки нуля закороченной и для разомкнутой цепи.
2. У PROTEK 9216A включите режим измерения C+D, выберите параллельную эквивалентную схему и тестовую частоту 1 кГц.
3. Подключите конденсатор 22 нФ. Убедитесь, что показание емкости прибором соответствуют емкости реального конденсатора с отклонением не более 1.10%. Убедитесь, что показание D ниже 0.0001.
4. Установите тестовую частоту 100 Гц. Убедитесь, что показание емкости прибором близко ранее измеренному значению с тем же допуском. Повторите измерение для частоты 120 Гц. Показание D должно быть ниже 0.0001.
5. Повторите измерение для частоты 10 кГц. Допуск для этой частоты составляет 1.15%. Допуск для частоты 100 кГц составляет 1.25%. А показание D должно быть ниже 0.001 для частоты 10 кГц и ниже 0.01 для частоты 100 кГц.

Проверка характеристик

Эти проверки предназначены для оценки соответствия конкретного измерителя PROTEK 9216A заявленным характеристикам. Результаты всех проверок, вместе с результатами проверок работоспособности, следует заносить в ведомость проверки характеристик, образец которой приводится в конце руководства по эксплуатации.

Необходимое оборудование:

Оборудование:	Требуемые характеристики:
измеритель временных интервалов	погрешность измерения временного интервала: менее 1 нс
вольтметр постоянного/переменного тока	цифровой дисплей 5 1/2 знака, измерение среднеквадратических значений (TRUE RMS), частота переменного тока до 100 кГц
декадный магазин сопротивлений	точность 0.02%: от 1 Ом до 1 МОм
декадный магазин емкости	точность 0.05%: 1000 пФ до 10 мкФ

Условия проверки: предварительный прогрев прибора не менее 30 минут; температура окружающей среды $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Проверка точности частоты выходного сигнала

При этой проверке измеряется точность различных частот выходного сигнала. Она должна быть не хуже 0.01% (100 промилле) от номинального значения.

1. Загрузите в PROTEK 9216A начальные настройки производителя последовательным нажатием кнопок **RCL** → **[0]** → **ENTER**. Выберите режим постоянного напряжения, тестовую частоту 1 кГц.
2. Отключите от прибора фиксатор компонентов и подключите к нему BNC адаптер. Кабель BNC адаптера, подключенный к разъему IN прибора, подключите к частотомеру.
3. Убедитесь, что показание частотомера $1 \text{ кГц} \pm 0.1 \text{ Гц}$ (+0.01%). Запишите результат.
4. Повторите шаг 3 для частот: 100 Гц, 120 Гц, 10 кГц и 100 кГц. Частоты не должны отличаться от номинальных значений более чем на 0.01%. Запишите результаты.

Проверка точности амплитуды выходного сигнала

При этой проверке измеряется точность амплитуды выходного сигнала. Она должна быть не хуже 2.0% от номинального значения для любой установленной амплитуды.

1. Подключите вольтметр постоянного/ переменного тока к контактам для подключения тестируемых компонентов фиксатора. Для этого вставьте в зажимы фиксатора два отрезка провода и к ним подключите цифровой вольтметр. Ни один из выводов не должен иметь контакт с заземлением. Включите у цифрового вольтметра режим измерения напряжения переменного тока и автоматический выбор диапазона.
2. Загрузите в PROTEK 9216A начальные настройки производителя последовательным нажатием кнопок **RCL** → **[0]** → **ENTER**. Выберите режим постоянного напряжения, тестовую частоту 1 кГц и выходное напряжение 1.0 В_{эфф}. Убедитесь, что показание цифрового вольтметра находится между 0.98 В_{эфф} и 1.02 В_{эфф}. Запишите результат.
3. Повторите шаг 3 для частот: 100 Гц, 120 Гц и 100 кГц. Для всех частот показание цифрового вольтметра должно находиться между 0.98 В_{эфф} и 1.02 В_{эфф}. Запишите результаты.
4. Установите тестовую частоту 1 кГц. Установите последовательно напряжения 0.25 В и 0.10 В. Показание цифрового вольтметра должно находиться в пределах 2.0% от номинальных значений (между 0.245 В и 0.255 В; между 0.098 В и 0.102 В соответственно). Запишите результаты.
5. Включите у цифрового вольтметра режим измерения напряжения постоянного тока. Установите для PROTEK 9216A режим измерения C+D, тестовую частоту 100 кГц, выходное напряжение 0.10 В и режим напряжения смещения от внутреннего источника. Убедитесь, что цифровой вольтметр показывает напряжение для постоянного тока $2.0 \text{ В} \pm 2\%$.

Проверка погрешности измерения импеданса

Цель этой проверки – соответствие PROTEK 9216A заявленным характеристикам погрешности измерения импеданса. Для проведения проверки потребуются меры импеданса. Минимальное и максимальное допустимое показание определяются суммарной погрешностью PROTEK 9216A и меры импеданса. Например, прибор

при измерении 1'000 кОм должен обеспечивать погрешность $\pm 0.05\%$, а погрешность меры электрического сопротивления $\pm 0.02\%$, значит, полная погрешность будет $\pm 0.07\%$ или ± 0.7 Ом, а допустимый диапазон измеренного значения от 999.3 Ом до 1000.7 Ом. Для мер имеющих различные погрешности соответственно необходимо пересчитать и допустимые диапазоны измеренного значения.

Проверка погрешности измерения сопротивлений

1. Подключите BNC адаптер к выходным разъемам PROTEK 9216A. Все кабели BNC должны иметь на другом конце штекерные соединители. Изолируйте с помощью изоленты (или отрежьте) штекерные выводы заземления оранжевого (разъем PH) и фиолетового (разъем PL) кабеля. Подключите штекерные выводы заземления красного (разъем IH) и синего (разъем IL) кабелей к заземлению корпуса магазина сопротивлений. Подключите сигнальные выводы оранжевого и фиолетового кабелей к выводам "+" и "-" магазина сопротивлений. Подключите к магазину сопротивлений сигнальный вывод красного кабеля вместе с оранжевым, а сигнальный вывод синего кабеля вместе с фиолетовым кабелями. Загрузите в PROTEK 9216A начальные настройки производителя последовательным нажатием кнопок **RCL** → **[0]** → **ENTER**, затем выберите режим R+Q и тестовую частоту 1 кГц.
2. Отключите пару красный/оранжевый кабелей от контакта "+" магазина сопротивлений и подключите ее затем к паре синий/фиолетовый кабелей. Произведите калибровку нуля для закороченной цепи. Отключите пару кабелей красный/оранжевый от пары синий/фиолетовый и поместите ее отдельно на все время проведения следующей калибровки. Произведите калибровку нуля для разомкнутой цепи.
3. Подключите пару красный/оранжевый кабель к контакту "+" магазина сопротивлений. Установите переключателями магазина нулевое сопротивление. Измерьте PROTEK 9216A сопротивление. Показание прибора будет суммарным сопротивлением переключателей магазина и контактов его подключения. Введите и сохраните измеренное значение в качестве опорного в режиме ввода **ENTRY**. Установите режим отображения дисплея **DEV** (отображение отклонения от опорного значения).
4. Устанавливая на магазине значение сопротивления, согласно приведенной ниже таблице для проверки точности измерения сопротивления, измеряйте сопротивление PROTEK 9216A. Убедитесь, что показания прибора укладываются в допустимый диапазон. Запишите результаты.

Таблица для проверки точности измерения сопротивлений

Сопротивление	Диапазон	Условия проверки		Погрешность PROTEK 9216A + погрешность R
10.0 Ом	3	1 кГц	последовательная схема	9.9930 Ом ÷ 10.007 Ом
25.0 Ом	3	1 кГц		24.983 Ом ÷ 25.018 Ом
25.0 Ом	3	10 кГц		24.970 Ом ÷ 25.030 Ом
25.0 Ом	3	100 кГц		24.945 Ом ÷ 25.055 Ом
100.0 Ом	3	1 кГц		99.930 Ом ÷ 100.07 Ом
100.0 Ом	2	1 кГц	последовательная схема	99.930 Ом ÷ 100.07 Ом
400.0 Ом	2	1 кГц		399.72 Ом ÷ 400.28 Ом
400.0 Ом	2	10 кГц		399.52 Ом ÷ 400.48 Ом
400.0 Ом	2	100 кГц		399.12 Ом ÷ 400.88 Ом
1.600 кОм	2	1 кГц		1.5989 кОм ÷ 1.6011 кОм
1.6000 кОм	1	1 кГц	параллельная схема	1.5989 кОм ÷ 1.601 кОм
6.4000 кОм	1	1 кГц		6.3955 кОм ÷ 6.4045 кОм
6.4000 кОм	1	10 кГц		6.3923 кОм ÷ 6.4077 кОм
6.4000 кОм	1	100 кГц		6.3859 кОм ÷ 6.4141 кОм
25.0000 кОм	1	1 кГц		24.983 кОм ÷ 25.018 кОм
25.0000 кОм	0	1 кГц	параллельная схема	24.983 кОм ÷ 25.018 кОм
100.0000 кОм	0	1 кГц		99.930 кОм ÷ 100.07 кОм
100.0000 кОм	0	10 кГц		99.880 кОм ÷ 100.12 кОм
400.0000 кОм	0	1 кГц		399.72 кОм ÷ 400.28 кОм

* При добротности Q больше 0.1 допустимая погрешность должна быть умножена на (1+Q).

Проверка погрешности измерения емкостей

1. Подключите штекерные выводы заземления кабелей BNC адаптера, подключенных к разъемам IH и IL, к контакту заземления магазина емкости. Подключите пару сигнальных штекерных выводов кабелей, подключенных к разъемам IH и PH, к контакту "+" магазина емкости. Подключите пару сигнальных штекерных выводов кабелей, подключенных к разъемам IL и PL, к контакту "-" магазина емкости. Загрузите в PROTEK 9216A начальные настройки производителя последовательным нажатием кнопок **RCL** → **[0]** → **ENTER**, затем выберите режим R+Q и тестовую частоту 1 кГц.
2. Отключите пару кабелей, подключенных к разъемам IH и PH, от контакта "+" магазина емкости, и подключите ее затем к паре кабелей, подключенных к контакту "-" магазина емкости. Произведите калибровку нуля для закороченной цепи. Отключите пару кабелей, подключенных к разъемам IH и PH, от контакта "-" магазина емкости и поместите ее отдельно на все

время следующей калибровки. Произведите калибровку нуля для разомкнутой цепи.

3. Подключите пару кабелей, подключенных к разъемам IН и РН, к контакту "+" магазина емкости. Установите переключателями магазина нулевую емкость.
4. Измерьте емкость измерителем PROTEK 9216A. Показание прибора будет суммарной емкостью контактов переключателей и контактов подключения магазина. Введите измеренное значение в качестве опорного в режиме ввода **ENTRY**. Установите режим отображения дисплея **DEV** (отображение отклонения от опорного значения).
5. Устанавливая на магазине значение емкости, согласно приведенной ниже таблице для проверки точности измерения емкости, измеряйте емкость PROTEK 9216A. Убедитесь, что показания прибора укладываются в допустимый диапазон. Запишите результаты.

Таблица для проверки точности измерения емкости

Емкость	Частота	Диапазон	Погрешность PROTEK 9216A + погрешность С
1.0 нФ	1 кГц	0	.99930 нФ ÷ 1.0007 нФ
1.0 нФ	10 кГц	1	.99880 нФ ÷ 1.0012 нФ
1.0 нФ	100 кГц	2	.99780 нФ ÷ 1.0022 нФ
10.0 нФ	100 Гц	0	9.9930 нФ ÷ 10.007 нФ
10.0 нФ	1 кГц	1	9.9930 нФ ÷ 10.007 нФ
10.0 нФ	10 кГц	2	9.9880 нФ ÷ 10.012 нФ
10.0 нФ	100 кГц	2	9.9780 нФ ÷ 10.022 нФ
100 нФ	100 Гц	1	99.930 нФ ÷ 100.07 нФ
100 нФ	1 кГц	2	99.930 нФ ÷ 100.07 нФ
100 нФ	10 кГц	2	99.880 нФ ÷ 100.12 нФ
100 нФ	100 кГц	3	99.780 нФ ÷ 100.22 нФ
1.000 мкФ	100 Гц	2	.99930 мкФ ÷ 1.0007 мкФ
1.000 мкФ	1 кГц	2	.99930 мкФ ÷ 1.0007 мкФ
1.000 мкФ	10 кГц	3	.99880 мкФ ÷ 1.0012 мкФ
10.000 мкФ	100 Гц	2	9.9930 мкФ ÷ 10.007 мкФ

Калибровка

Введение

Калибровка PROTEK 9216A состоит из нескольких отдельных частей: калибровки нуля для закороченной и для разомкнутой цепи, калибровка образцовыми резисторами и калибровка амплитуды.

Калибровки нуля для закороченной и для разомкнутой цепи (описаны в части 1 этого руководства) предназначены для компенсации паразитного импеданса фиксатора (устройства для подключения тестируемых приборов). Эти калибровки могут осуществляться периодически или произвольно, а также в обязательном порядке при замене, подключенного к прибору фиксатора компонентов.

Калибровка образцовыми резисторами задает точность PROTEK 9216A, поскольку она определяет значения для внутренней привязки к этим образцовым резисторам. Калибровку образцовыми резисторами необходимо производить периодически из-за старения и дрейфа компонентов измерителя.

Калибровка амплитуды устанавливает амплитуду тестового сигнала переменного тока и не требует периодического проведения, поскольку эта калибровка не влияет на погрешность измерений PROTEK 9216A.

Доступ к калибровке

PROTEK 9216A поставляется с заблокированным режимом калибровки. В таком состоянии возможны лишь калибровки нуля для закороченной или разомкнутой цепи. Для возможности калибровки образцовыми резисторами и калибровки амплитуды необходимо установить переключку внутри прибора. Для установки переключки необходимо снять верхнюю крышку прибора, вывернув четыре винта (при этом будет сломана пломба заводской калибровки измерителя). На обратной стороне в центре печатной платы расположена трехконтактная колодка для переключек с обозначением JP1001. Для доступа к режимам калибровки установите переключку между центральным контактом и контактом калибровки "cal". Если переключка установлена между центральным контактом и контактом "normal", то режимы калибровки будут заблокированы.

"Калбайты"

При калибровке PROTEK 9216A проверяет константы калибровок ("калбайты"), которые внутренняя программа измерителя использует для коррекции при вычислениях импеданса. "Калбайты" хранятся в ОЗУ PROTEK 9216A. При повторной калибровке PROTEK 9216A заново определяются значения "калбайтов", а затем сохраняются в ОЗУ. Заданные при изготовлении PROTEK 9216A значения "калбайтов" хранятся в ПЗУ и могут быть загружены в любое время. "Калбайты" значений опорных сопротивлений автоматически определяются подпрограммами калибровки образцовыми резисторами, а "калбайты" амплитуды должны быть определены вручную.

95 "калбайтов" амплитуды, каждый из которых содержит однобайтное целое число от 0 до 255, могут непосредственно изменяться с передней панели прибора, а их структура показана в табл. 2-10. Следующие 120 "калбайтов", содержащие числа с плавающей запятой, являются константами калибровок коррекции частоты, значений опорных сопротивлений и калибровок нуля для закороченной и для разомкнутой цепи, их структура приведена в табл. 2-11, и они автоматически определяются подпрограммами калибровки PROTEK 9216A. Эти "калбайты" не

могут быть изменены непосредственно вручную с передней панели прибора, но могут быть изменены через компьютерный интерфейс.

Таблица 2-10. Структура "калбайтов" амплитуды

Амплитуда	Частота				
	100 Гц	120 Гц	1 кГц	10 кГц	100 кГц
0.10 В	0	1	2	3	4
0.15 В	5	6	7	8	9
0.20 В	10	11	12	13	14
0.25 В	15	16	17	18	19
0.30 В	20	21	22	23	24
0.35 В	25	26	27	28	29
0.40 В	30	31	32	33	34
0.45 В	35	36	37	38	39
0.50 В	40	41	42	43	44
0.55 В	45	46	47	48	49
0.60 В	50	51	52	53	54
0.65 В	55	56	57	58	59
0.70 В	60	61	62	63	64
0.75 В	65	66	67	68	69
0.80 В	70	71	72	73	74
0.85 В	75	76	77	78	79
0.90 В	80	81	82	83	84
0.95 В	85	86	87	88	89
1.00 В	90	91	92	93	94

Таблица 2-11. Структура "калбайтов", содержащих числа с плавающей запятой

№ "калбайта"	Наименование	Значение
0	коррекция частоты	отклонение от номинала, в промилле
1–40	значения опорных сопротивлений	величины импеданса в виде действительной и мнимой частей
41–80	значения для разомкнутой цепи	величины комплексной проводимости в виде действительной и мнимой частей
81–120	значения для замкнутой цепи	величины импеданса в виде действительной и мнимой частей

Требуемые условия и оборудование

Для проведения калибровки амплитуды, частоты или калибровки образцовыми резисторами необходимо следующее оборудование:

- измеритель временных интервалов с погрешностью менее 1 нс;
- вольтметр постоянного/ переменного тока с цифровым дисплеем 5 ½ знака, измерение среднеквадратических значений (TRUE RMS) и частотой измеряемого переменного тока до 100 кГц;
- образцовые резисторы с известным сопротивлением, погрешностью не более 0.01% и известной добротностью Q с погрешностью не более 25 промилле, сопротивление резисторов должно быть 95.300 кОм (R0), 5.970 кОм (R1), 374.0 Ом (R2) и 25.0 Ом (R4);
- BNC адаптер.

Для проведения калибровки необходимы следующие условия: предварительный прогрев прибора не менее 30 минут; температура окружающей среды $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Калибровка амплитуды

Эта процедура позволяет провести калибровку амплитуды при различных значениях частоты и выходного напряжения. Для входа в режим измерения и определения "калбайтов" нажмите кнопку **CAL** до появления на левом дисплее сообщения "cl i", где *i* – целое число, номер "калбайта". Значение текущего "калбайта" будет показано на правом дисплее. Кнопки выбора частоты [↑] или [↓] позволяют выбрать текущий "калбайт" амплитуды. Новое значение вводится с помощью цифровых кнопок.

1. Подключите вольтметр постоянного/ переменного тока к контактам с двух сторон фиксатора. Для этого вставьте в зажимы фиксатора два кусочка провода и к ним подключите цифровой вольтметр. Ни один из выводов не должен иметь контакт с заземлением. Установите цифровой вольтметр в режим измерения напряжения переменного тока и автоматического выбора диапазона. Нажмите последовательно кнопки **RCL** → **[0]** → **ENTER** для загрузки в PROTEK 9216A начальных настроек производителя. Установите режим постоянного напряжения измерителя.
2. Измерьте значения амплитуды и частоты для "калбайта" с номером 0 (0.10 В и 100 Гц). Если значение не укладывается в 2% допуск от номинального значения, то вычислите новое значение "калбайта" по формуле:

$$\text{новый "калбайт"} = \frac{U_{\text{ном}}}{U_{\text{изм}}} \times \text{текущий "калбайт"} ,$$

округлите до ближайшего целого значения и введите новое значение для "калбайта".

3. Убедитесь, что амплитуда укладывается в 2% допуск от номинального значения. В таблице 2-12 приведены пределы допустимых значений для каждой амплитуды.
4. Повторите шаги 2 и 3 для частоты 120 Гц, 1 кГц, 10 кГц и 100 кГц ("калбайты" 1, 2, 3 и 4) при той же амплитуде (0.10 В). Помните, что для каждого значения амплитуды номер "калбайта" увеличивается с частотой.

5. Повторите шаги с 2 по 4 для каждого значения амплитуды из таблицы. При каждом значении амплитуды повторите измерения для каждого значения частоты, начиная с 100 Гц и повышая частоту до 100 кГц.

Таблица 2-12. Допустимые значения амплитуды

№ "калбайта"	Номинальное напряжение	Допустимые значения
0-4	0.100	0.098-0.102
5-9	0.150	0.147-0.153
10-14	0.200	0.196-0.204
15-19	0.250	0.245-0.255
20-24	0.300	0.294-0.306
25-29	0.350	0.343-0.357
30-34	0.400	0.392-0.408
35-39	0.450	0.441-0.459
40-44	0.500	0.490-0.510
45-49	0.550	0.539-0.561
50-54	0.600	0.588-0.612
55-59	0.650	0.637-0.663
60-64	0.700	0.686-0.714
65-69	0.750	0.735-0.765
70-74	0.800	0.784-0.816
75-79	0.850	0.833-0.867
80-84	0.900	0.882-0.918
85-89	0.950	0.931-0.969
90-94	1.000	0.980-1.020

Калибровка частоты

Эта процедура определяет погрешность частоты PROTEK 9216A. Точность значения частоты важна при вычислении значений емкости и индуктивности. Коэффициент коррекции ("калбайт") частоты сохраняется в приборе в единицах промилле (миллионных частях).

1. Нажмите последовательно кнопки **RCL** → **[0]** → **ENTER** для загрузки в PROTEK 9216A начальных настроек производителя. Выберите режим постоянного напряжения и тестовую частоту 1 кГц.
2. Подключите BNC адаптер к входным разъемам прибора. Подключите к частотомеру кабель от разъема IN.
3. Определите новое значение для "калбайта" по формуле

$$\text{"калбайт"} = (\text{частота} - 1000.000) \times 1000.$$

4. Для изменения "калбайта" частоты нажмите кнопку **CAL** до появления на дисплее сообщения "Std cAL". Нажмите кнопку **ENTER** для входа в меню и затем нажмите кнопку **CAL** до появления на левом алфавитно-цифровом дисплее сообщения "df" и текущего значения "калбайта" на правом дисплее. Новое значение вводится в промилле с помощью цифровых кнопок. Для выхода из меню калибровок нажмите кнопку **CAL** до появления сообщения "quit CAL" и затем нажмите кнопку **ENTER**.

Калибровка образцовыми резисторами

Эта процедура определяет величины внутренних стандартов импеданса для различных частот и диапазонов. PROTEK 9216A определяет величины внутренних стандартов импеданса измерением известных образцовых резисторов с последующим их пересчетом, а затем использует полученные значения для расчета импеданса тестируемых приборов. Величины внутренних стандартов являются основой точности прибора, поэтому должны быть достоверно известны точные значения, как активной, так и реактивной составляющих, используемых для калибровки резисторов. Кроме того, измеритель LCR PROTEK 9216A и образцовые резисторы должны находиться при этой процедуре в термостабильном помещении с выдержкой перед калибровкой не менее 30 минут для выравнивания температур.

Вызов меню калибровки образцовыми резисторами производится следующим образом. Нажмите кнопку **CAL**, пока на алфавитно-цифровом дисплее не появится сообщение "Std cAL". Нажмите однократно кнопку **ENTER** для входа в это меню. Затем нажмите кнопку **CAL**, пока на левом дисплее не появится сообщение "rAngE". Здесь нужно ввести требуемый диапазон, используя цифровые кнопки **[0]** ÷ **[3]** и кнопку **ENTER**, значение которого будет отображено на правом дисплее.

После ввода диапазона, последовательными нажатиями кнопки **CAL** можно циклически перемещаться по меню. Нажатие кнопки **ENTER** в процессе перемещения по меню позволяет осуществлять ввод или просмотр значений. Два различных параметра должны быть обязательно введены "r Std" (значение сопротивления образцового резистора) и "q Std" (добротность Q образцового резистора). Ввод значения сопротивления завершается кнопками **Ω**, **kΩ**, и **MΩ**, согласно размерности ввода, а добротность вводится с размерностью промилле. Отрицательная добротность Q означает емкостной, а положительная – индуктивный характер сопротивления. В меню имеется три пункта различных выполняемых функций: "StArt cAl" (запуск процедуры калибровки), "Fctry cAL" (калибровка производителя) и "quit cAL" (выход из меню калибровки).

1. Проверьте отсутствие загрязнения или воскового защитного покрытия на контактах фиксатора. При обнаружении загрязнения произведите чистку. Удалите из фиксатора любые адаптеры или компоненты.
2. Проведите калибровки нуля для закороченной и для разомкнутой цепи.
3. Вставьте в фиксатор образцовый резистор R0. Вызовите меню калибровки, как было описано выше, и выберите диапазон 0.
 - Нажмите кнопку **CAL**, пока не появится сообщение "r Std" (сопротивление образцового резистора). Введите значение сопротивления R0.
 - Нажмите кнопку **CAL**, пока не появится сообщение "q Std" (добротность Q образцового резистора), и введите значение Q для образцового резистора в промилле.
 - Нажмите кнопку **CAL**, пока не появится сообщение "StArt cAL" (старт калибровки). Запустите процесс калибровки нажатием кнопки **ENTER**, убедившись предварительно в отсутствии рук или любых посторонних предметов рядом с фиксатором компонентов.
4. Повторите шаг 3 для трех других диапазонов (1, 2 и 3). После их выполнения выйдите из меню калибровки нажатием кнопки **CAL**, пока не появится сообщение "quit cAL", с последующим нажатием кнопки **ENTER**.
5. После проведения калибровки убедитесь в ее точности. Проведите калибровки нуля для закороченной и для разомкнутой цепи. Вставьте образцовый резистор в фиксатор и поведите измерения при 1 кГц для последовательной эквивалентной схемы. Для показаний R и Q допускается отличие от реальных значений образцового резистора только в младшем разряде.
6. Проверьте прибор при различных частотах измерением образцовых резисторов. Используйте последовательную эквивалентную схему для двух наименьших резисторов и параллельную эквивалентную схему для двух наибольших резисторов. Значение R должно оставаться постоянным, а добротность Q пропорционально расти с частотой (т.е. Q при 10 кГц должно быть равно $10 \times Q$ при 1 кГц). Значительное отличие от номинального любого из значений означает необходимость повторной калибровки для диапазона.
7. Перед проведением измерения выполните калибровки нуля для закороченной и для разомкнутой цепи с используемым для измерения фиксатором.

Дистанционное управление измерителем LCR

Общие сведения

Измеритель LCR PROTEK 9216A может управляться и программироваться дистанционно через интерфейсы RS232 или GPIB (IEEE488). Для этих целей PROTEK 9216A может использоваться совместно с любым компьютером, имеющим любой из этих интерфейсов. Работа с обоими интерфейсами подобна, а их кабели подключаются к разъемам расположенным на задней панели прибора. PROTEK 9216A выполняет команды обоих интерфейсов, а при получении команды посылает назад ответ. Все предоставляемые элементами управления и индикации прибора, расположенными на передней и задней панелях, возможности (кроме питания прибора) могут контролироваться дистанционно.

Использование интерфейсов

Интерфейс RS232

В целом интерфейс RS232 служит для обмена данными между терминальным устройством (DTE), например компьютером, и устройством коммуникации (DCE), например модемом. Интерфейс включает в себя две сигнальных линии, которые могут работать в полудуплексном (односторонняя передача данных в текущий момент времени) или дуплексном (одновременный двухсторонняя передача данных) режимах. Другие линии интерфейса предназначены для управления потоками передачи данных. Передача данных не может производиться, пока на соответствующей управляющей линии не появится разрешающий сигнал (т.е. линия должна изменить состояние с 0 на 1).

Стандарт интерфейса RS232

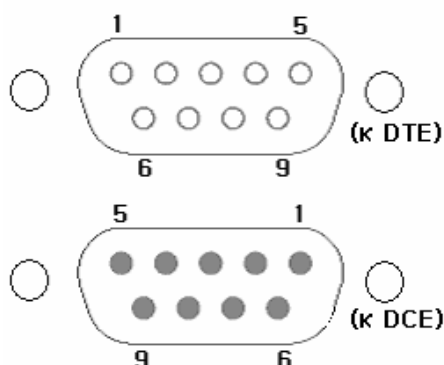
Подключение интерфейса RS232 осуществляется через кабель с обыкновенными 9-контактными разъемами, используемыми в коммуникационных сетях: 9-контактная вилка D-SUB для DTE (терминальное устройство) и 9-контактная розетка D-SUB для DCE (устройство коммуникации). Назначение контактов разъемов показано в табл. 3-1.

Ниже приводится описание основных сигналов интерфейса RS232.

- Запрос на посылку (RTS) и готовность к посылке (CTS). Сигнал в линии RTS информирует модем, что компьютер ожидает посылки данных. Если модем готов к передаче данных, то он выставляет сигнал в линии CTS. Обычно, после выставления сигнала в линии RTS, компьютер ожидает выставления модемом сигнала в линии CTS перед передачей данных.

- Готовность компьютера (DTR) и готовность модема (DSR). Сигнал в линии DTR выставляется компьютером для информирования модема о том, что он включен и готов к связи. В ответ модем должен выставить сигнал в линии DSR, сообщая компьютеру, что модем тоже включен.
- Обнаружен носитель данных (DCD). Эта линия управляется модемом и служит для информирования компьютера об установлении физического подключения к другому модему и о готовности к передаче данных.

Таблица 3-1. Контакты разъемов интерфейса RS-232 и их назначение.



Контакт	Сигнал	Направление	Описание
1	DCD	←	Обнаружен носитель данных (Data carrier detect)
2	RX	←	Принимаемые данные (Receive Data)
3	TX	→	Передаваемые данные (Transmit data)
4	DTR	→	Готовность компьютера (Data terminal ready)
5	GND	—	Сигнальное заземление
6	DSR	←	Готовность модема (Data Set Ready)
7	RTS	→	Запрос на посылку (Request to send)
8	CTS	←	Готовность к посылке (Clear to Send)
9	RI	←	Индикатор звонка (Ring indicator)

Измеритель LCR при использовании интерфейса RS232 для дистанционного управления играет роль модема, передающего в компьютер поток данных с результатами измерений.

Настройки при использовании интерфейса RS-232

PROTEK 9216A конфигурирован, как устройство DCE (передача через контакт 3, прием через контакт 2), и аппаратно поддерживает, описанный выше протокол обмена с квитированием CTS/DTR. Выходной сигнал измерителя CTS (контакт 8) оповещает о готовности PROTEK 9216A, в то время как входной сигнал измерителя DTR (контакт 4) используется для управления передачей данных от PROTEK 9216A. При необходимости контакты квитирования могут быть игнорированы, и использован простой трехпроводный вариант интерфейса (контакты 2, 3 и 5).

Перед установкой связи с PROTEK 9216A необходимо установить параметры RS232. Как показано в таблице 3-2, установка параметров интерфейса RS232 производится при помощи переключателей SW1-1 ÷ SW1-7, расположенных на задней панели измерителя. Последние три переключателя позволяют выбрать

скорость передачи информации 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 или 19'200 бод. Возможна установка режима без проверки четности, с проверкой четности или с проверкой нечетности, а также длина слова данных 7 или 8 бит.

ЗАМЕЧАНИЕ: при использовании двоичного формата выходных данных необходимо установить у PROTEK 9216A длину слова данных 8 бит.

Таблица 3-2. Положения переключателей SW1 и соответствующие параметры RS-232

СКОРОСТЬ ОБМЕНА			
SW1-7	SW1-6	SW1-5	Скорость обмена
ON	ON	ON	300 Гц
OFF	ON	ON	600 Гц
ON	OFF	ON	1200 Гц
OFF	OFF	ON	2400 Гц
ON	ON	OFF	4800 Гц
OFF	ON	OFF	9600 Гц
ON	OFF	OFF	19'200 Гц
ФОРМАТ			
SW1-4	OFF	с проверкой четности	
	ON	без проверки четности	
SW1-5	OFF	проверка четности	
	ON	проверка нечетности	
SW1-6	OFF	8 бит данных	
	ON	7 бит данных	

Дополнительный интерфейс GPIB (IEEE 488)

Стандарт интерфейса IEEE-488

Интерфейс GPIB (General Purpose Interface Bus, интерфейсная шина общего назначения), известный также как интерфейс IEEE-488, является параллельным 8 бит интерфейсом для измерительного оборудования, использующим единую общую шину. Стандарт IEEE-488 был предложен компанией Хьюлетт-Паккард в конце 1970-х и с тех пор несколько раз был пересмотрен. В документации Хьюлетт-Паккард (включая спецификации и руководства) этот интерфейс называется HP-IB (Hewlett-Packard Interface Bus, интерфейсная шина Хьюлетт-Паккард). Он позволяет объединять на одной шине до 15 интеллектуальных приборов с возможностью использования медленных приборов, участвующих в управлении и передаче данных с квитированием и регулировки скорости передачи данных. Максимальная скорость передачи данных – около одного мегабита в секунду.

В июне 1987 IEEE приняла новый стандарт для программируемых приборов, называемый ANSI/IEEE 488.2-1987: коды, форматы, протоколы и общие команды. Он совместим в обратную сторону со стандартом IEEE (американского Института инженеров электротехнической и электронной промышленности): Стандартный цифровой интерфейс для программируемых измерительных приборов, ANSI/IEEE

488-1978 (теперь 488.1). HP-IB является версией Хьюлетт-Паккард стандарта IEEE 488.1. Стандарт команд для управления программируемыми измерительными приборами (SCPI), описанный в IEEE 488.2, представляет собой структуры команд для создания полного единого набора команд программирования применимого для любого поддерживающего SCPI измерительного прибора.

Обмен информацией между двумя приборами GPIB осуществляется по одной шине через адресованные конкретному прибору посылки и интерфейсные сообщения. Приборы, подключаемые к шине, различаются по типам: "только передача", "только прием" и контроллеры. Приборы типа "только передача" посылают данные одному или более приборам типа "только прием", принимающим их. Контроллер управляет потоком информации в шине GPIB, посылая команды всем приборам. Например, цифровой вольтметр может поочередно находиться в состоянии "только передача", а также "только прием".

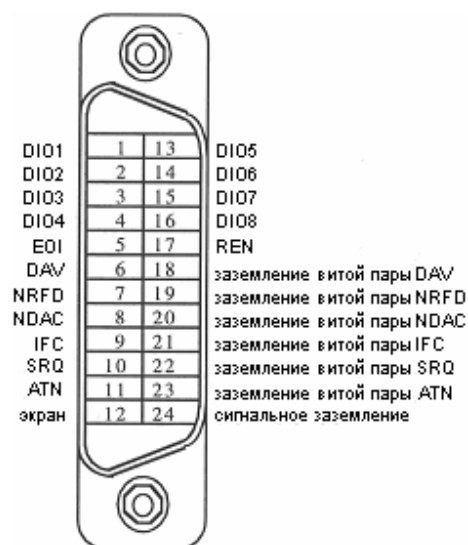
Шина GPIB подобна компьютерной шине, как если бы подключение к различным платам расширения PC на материнской плате производилось с помощью стандартных кабелей. Контроллер GPIB можно сравнить с центральным процессором компьютера или что более точно с коммутатором телефонной сети. Коммутатор (контроллер) следит за работой телефонной сети (шины GPIB). Если контроллер замечает, что одному из приборов необходимо отправить данные, то он подключает этот прибор в состоянии "только передача" к прибору в состоянии "только прием", которому эти данные адресованы, и разрешает передачу.

Некоторым шинам GPIB не требуется контроллер, например, если к шине подключены только один прибор, который всегда находится в состоянии "только передача", а также один или несколько приборов в состоянии "только прием". Контроллер необходим, если требуется смена состояния приборов: "только передача"/"только прием". Функции контроллера обычно выполняет компьютер со специальным программным и аппаратным обеспечением, позволяющим выступать ему и в роли прибора "только передача"/"только прием", и в роли контроллера.

В таблице 3-3 приведена подробная информация о 24 контактном разъеме для ленточного провода интерфейса GPIB: о 16-ти сигнальных и 8-ми экранированных (заземления для возврата тока) контактах. 16 сигнальных линий кабеля полностью соответствуют HP-IB (IEEE-488) и делятся на три группы по функциям:

- шина данных (восемь линий): эти линии (DI01 ÷ DI08) предназначены для передачи команд или данных; все команды и большинство данных используют в посылках 7-ми битный код ASCII, восьмой бит (DI08) применяется при использовании проверки четности;
- шина квитирования или управления передачей данных (три линии): NRFD (not ready for data, не готов к приему), NDAC (not data accepted, данные не приняты) и DAV (data valid, данные готовы); выставление и убирание сигналов на эти линии, приборы тем самым определяют скорость передачи данных;
- шина управления интерфейсом (пять линий): ATN (attention, внимание), IFC (interface clear, очистить интерфейс), REN (remote enable, разрешить режим дистанционного управления), SRQ (service request, запрос обслуживания) и EOI (end or identify, конец или идентификация).

Таблица 3-3. Контакты и назначение выводов разъема интерфейса GPIB (IEEE-488)



Контакт	Сигнал	Описание
1 ÷ 4	DI01 ÷ DI04	линии данных
5	EOI	конец или идентификация; прибор "только передача" использует его в качестве метки конца строки; а контроллер использует его для идентификации прибора в случае ответа при параллельном опросе
6	DAV	данные готовы; информация выставлена на линиях данных и готова к приему
7	NRFD	не готов к приему; используется приборами в состоянии "только прием"
8	NDAC	данные не приняты; если этот сигнал не активен, это значит, данные приняты всеми адресатами
9	IFC	очистить интерфейс; используется контроллером для инициализации или реинициализации шины
10	SRQ	запрос обслуживания; используется приборами для запроса обслуживания у контроллера
11	ATN	внимание; информирует об использовании контроллером шины данных
12	экран	
13 ÷ 16	DI05 ÷ DI08	линии данных
17	REN	разрешить режим дистанционного управления; используется контроллером для разрешения режима дистанционного управления для определенных приборов
18	заземление (для DAV)	проводники для возврата тока витых пар сигнальных линий
19	заземление (для NRFD)	
20	заземление (для DAC)	
21	заземление (для IFC)	
22	заземление (для SRQ)	
23	заземление (для ATN)	
24	сигнальная земля	заземления для возврата тока линий данных

Настройки при использовании интерфейса IEEE-488

В измерителе PROTEK 9216A реализован стандарт интерфейса IEEE-488.1 (1978), а также поддерживается стандарт системы команд IEEE-488.2 (1987).

Перед использованием интерфейса GPIB у PROTEK 9216A должен быть установлен адрес. Установка адреса производится при помощи переключателей SW2, расположенных на задней панели измерителя. Возможен выбор адреса от 0 до 30 установкой переключателями A0 ÷ A4 его двоичного значения. "1" соответствует верхнее положение любого переключателя, а "0" – нижнее положение. Адрес вычисляется по следующей формуле

$$\text{адрес} = A0 + 2 \cdot A1 + 4 \cdot A2 + 8 \cdot A3 + 16 \cdot A4.$$

Подключите кабель IEEE-488 (24-контактный, Dual Centronics) к разъему IEEE-488 (GPIB) и зафиксируйте его винтом.

Дополнительный интерфейс сортировочного устройства

Введение

Дополнительный интерфейс сортировочного устройства PROTEK 9216A позволяет использовать этот прибор совместно с внешним сортировочным устройством для измерения и сортировки компонентов. Для координации их работы интерфейс имеет выходные линии управления 10 корзинами сортировки, а также линии общего управления (–START, –BUSY, –BDA) Подробная информация о настройке корзин и возможностях сортировки содержится в главе 4, части 2 настоящего руководства.

Временная диаграмма работы интерфейса сортировочного устройства показана на рис. 3-1. В период времени, обозначенный (а) на рисунке, PROTEK 9216A ожидает запуска процесса измерения. На выходных линиях управления корзинами сортировки все еще остаются данные, если они были ранее выставлены.

В начале периода, обозначенного (b) на рисунке, отрицательный импульс на линии –START запускает процедуру измерения PROTEK 9216A. Уровень на линии –BUSY становится низким и остается таким до завершения измерения.

В начале периода обозначенного (с) на рисунке по завершении измерения PROTEK 9216A выбирает корзину для размещения компонента. В течение этого периода времени линия –BDA (bin data available, данные для корзины готовы), предназначенная для предотвращения неверного считывания данных для корзины, становится активной. До тех пор пока данные на линиях управления корзинами сортировки для выбранной корзины не будут установлены, на линии –BDA будет присутствовать высокий уровень сигнала. На линии, соответствующей выбранной корзине, будет установлен низкий уровень (только одна линия управления корзинами сортировки в любой момент времени может иметь низкий уровень). Внешнее сортировочное устройство теперь может удалить компонент из фиксатора, поместить его в определенную PROTEK 9216A корзину, а затем установить новый компонент в фиксатор. Цикл завершен и PROTEK 9216A вернулся в состояние, обозначенное буквой (а).

ЗАМЕЧАНИЕ: некоторые сортировочное устройство могут программироваться на удаление компонентов после измерения в зону сортировки по высокому уровню на линии –BUSY.

Техническое описание

Интерфейс сортировочного устройства, являющийся частью дополнительной платы интерфейсов GPIB и сортировочного устройства, имеет для подключения 25-контактный разъем, расположенный на задней панели PROTEK 9216A. Гнездовой разъем DB25, имеющий металлический корпус и оболочку, обеспечивает легкое подключение кабеля от внешнего сортировочного устройства. Описание контактов разъема интерфейса сортировочного устройства приведено в таблице 3-4.

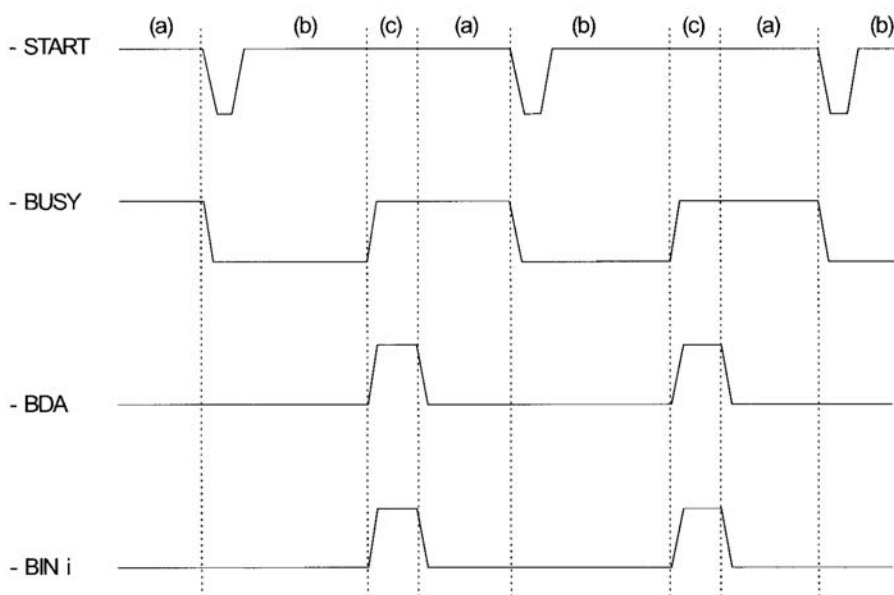


Рисунок 3-1. Временная диаграмма работы интерфейса сортировочного устройства

Таблица 3-4. Описание контактов разъема интерфейса сортировочного устройства

Контакт	Сигнал	Контакт	Сигнал
1		14	
2		15	
3	-START	16	
4		17	
5		18	заземление
6	заземление	19	питание +5 В
7	питание +5 В	20	-BDA
8	-BUSY	21	Bin 9
9	Bin 8	22	Bin 7
10	Bin 6	23	Bin 5
11	Bin 4	24	Bin 3
12	Bin 2	25	Bin 1
13	Bin 0		

Электрическое описание

Запуск измерителя производится по фронту сигнала, имеющего активный низкий уровень и длительность импульса не менее 50 нс на входной линии (-START), имеющей защитные диоды 1N4148, ограничивающие сигнал до ТТЛ уровня. Выходы интерфейса собраны на буферных инверторах с открытым коллектором 7406 и, следовательно, требуют в сортировочном устройстве внешних нагрузочных резисторов для нормальной работы.

ЗАМЕЧАНИЕ Максимальное напряжение высокого уровня для выходов интерфейса 30 В, а максимальный выходной ток при низком уровне сигнала 40 мА. Например, для подключения к выходу интерфейса сортировочного устройства с питанием 5 В необходимы нагрузочные резисторы с сопротивлением не менее $5\text{ В}/40\text{ мА}=125\text{ Ом}$. При использовании в качестве нагрузки обмотки реле необходимо использование параллельного ей гасящего диода, однако такое прямое подключение реле нежелательно. Рекомендуется использовать оптические развязки для всех линий данных, чтобы предотвратить влияние шумов сортировочного устройства на результат измерения.

Использование команд

Обмен информацией PROTEK 9216A основан на коде ASCII. Команды могут вводиться ПРОПИСНЫМИ или строчными буквами с произвольным количеством внедренных пробелов. Команда для PROTEK 9216A содержит 4-буквенную аббревиатуру соответствующих слов английского языка, параметры, при их необходимости, и признак окончания. В качестве признака окончания могут быть использованы для интерфейса RS232 символ возврата каретки <CR> или перевода строки <LF>, а для интерфейса GPIB символ перевода строки <LF> или сигнал EOI (конец или идентификация). Команда не будет выполняться, пока измеритель не получит признак ее окончания. Действие всех команд идентично при использовании интерфейсов GPIB или RS232. Команде может требоваться один или несколько параметров. Для разделения нескольких параметров используется символ запятой ",".

Несколько команд могут отсылаться в виде одной командной строки с использованием в качестве знака-разделителя между командами символа точка с запятой ";". Разница между посылкой нескольких команд в одной командной строке и посылкой нескольких отдельных команд в том, что командная строка анализируется и выполняется прибором полностью без прерываний на прочие действия.

Между посылками команд не требуется вводить временную задержку. PROTEK 9216A имеет 256-символьный входной буфер для приема команд, которые выполняются затем в порядке поступления. При заполнении буфера PROTEK 9216A предупредит об этом сигналами квитирования GPIB или RS232. При переполнении буфер будет очищен с соответствующим сообщением об ошибке. Выходной буфер GPIB может быть очищен с помощью универсальной команды Device Clear (очистить устройство).

Текущее значение некоторых параметров PROTEK 9216A может быть выяснено посылкой прибору соответствующего запроса. Запрос формируется добавлением знака вопроса "?" к 4-буквенной аббревиатуре соответствующей команды, опуская требующиеся для данной команды параметры. Если несколько запросов содержались в одной командной строке (разделенные, естественно, точками с запятой), то ответы на запросы будут переданы назад также одной строкой в том же порядке, разделенные точками с запятой. В качестве разделителя между ответами на каждый отдельный запрос PROTEK 9216A использует для интерфейса

RS232 символ возврата каретки <CR> или перевода строки <LF>, а для интерфейса GPIB символ перевода строки <LF> или сигнал EOI (конец или идентификация). За исключением ответов в двоичном формате, в этом случае для обоих интерфейсов в качестве разделителя использует символ перевода строки <LF>. Ответы на любые команды передаются в виде целого числа, если в описании команды не указано иначе. Примеры написания команд представлены в таблице 3-5.

Таблица 3-5. Примеры написания команд

FREQ 2 <LF>	установка тестовой частоты 100 Гц (команда с одним параметром)
FREQ ? <LF>	запрос тестовой частоты (запрос с одним параметром)
BLIM 0, 3, 100 <LF>	установка значения верхнего предельного отклонения для корзины 3 1000 Ом (команда с тремя параметрами)
BLIM ? 0, 3 <LF>	запрос значения верхнего предельного отклонения для корзины 3 (запрос с тремя параметрами)
*IDN ? <LF>	запрос идентификации прибора (запрос без параметров)
*TRG <LF>	запуск измерения (команда без параметров)
FREQ 1; FREQ ? <LF>	установка тестовой частоты 120 Гц, затем запрос тестовой частоты

Перечень команд

ПЕРЕМЕННЫЕ	i, j целые числа; x действительное число
НАСТРОЙКИ ИЗМЕРЕНИЙ	
\$STL(?) { i }	установка (запрос) времени задержки измерения от $i = 2$ до $i = 99$ мс
AVGM(?) { i }	установка (запрос) режима усреднения: вкл. ($i = 1$) или выкл. ($i = 0$)
BIAS(?) { i }	установка (запрос) напряжения смещения: внутр. ($i = 1$), внеш. ($i = 2$) или ВЫКЛ. ($i = 0$)
CIRC(?) { i }	установка (запрос) эквивалентной схемы: последовательная ($i = 0$) или параллельная ($i = 1$)
CONV(?) { i }	установка (запрос) режима постоянного напряжения: вкл. ($i = 1$) или выкл. ($i = 0$)
FREQ(?) { i }	установка (запрос) тестовой частоты: 100 Гц (0), 120 Гц (1), 1 кГц (2) или 100 кГц (4)
MMOD(?) { i }	установка (запрос) режима запуска: автоматический ($i = 0$) или ждущий ($i = 1$)
NAVG(?) { i }	установка (запрос) числа измерений для усреднения: от $i = 2$ до $i = 10$
PMOD(?) { i }	установка (запрос) режима измерения: AUTO (0), R+Q (1), L+Q (2), C+D (3) или C+R (4)
RATE(?) { i }	установка (запрос) скорости измерения: FAST (0), MED (1) или SLOW (2)
RNGE(?) { i }	установка (запрос) диапазона измерения: 100 кОм (0), 6.4 кОм (1), 400 Ом (2) или 25 Ом (3)
RNGH(?) { i }	установка (запрос) режима фиксации диапазона: вкл. ($i = 1$) или выкл. ($i = 0$)
VOLT(?) { x }	установка (запрос) выходного напряжения от $0.1 \text{ В} \leq x < 1.00 \text{ В}$ с шагом 0.05 В

УПРАВЛЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЕМ	
PREL(?) { <i>x</i> }	установка (запрос) опорного (номинального) значения для отображения абсолютного и % отклонения: <i>x</i> (Ом, Ф, Гн)
STRT	запуск измерения
STOP	остановка текущего измерения
*TRG	аналогично команде STRT
ИЗМЕРЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ	
OUTF(?) { <i>i</i> }	установка (запрос) выходного формата: полный (0) или краткий (1) в ASCII, полный (2) или краткий (3) в двоичной форме
XALL?	возвращает значения основного и дополнительного параметров, а также номер корзины
XBIN?	возвращает номер корзины для текущего измерения
XDLT?	возвращает абсолютное отклонение основного параметра от опорного значения
XMAJ?	возвращает значение основного параметра
XMIN?	возвращает значение дополнительного параметра
XPCT?	возвращает % отклонение основного параметра от опорного значения
СОПТИРОВКА	
BCL	очистка номинальных значений и значений предельных отклонений для всех корзин и их закрытие
BING(?) { <i>i</i> }	установка (запрос) состояния корзины: открыта (<i>i</i> = 1) или закрыта (<i>i</i> = 0).
BLIM(?) <i>i j</i> { <i>x</i> }	установка (запрос) верхнего (<i>i</i> = 0) или нижнего (<i>i</i> = 1) для корзины <i>j</i> (0-7) значения предельного отклонения <i>x</i> %.
BNOM(?) <i>i</i> { <i>x</i> }	установка (запрос) для номинального значения <i>x</i> для корзины <i>i</i>
ОБЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРИБОРОМ	
*IDN?	возвращает строку идентификации измерителя PROTEK 9216A
*OPC(?)	установка (запрос) бита в байте регистра состояния событий после завершения измерения
*RCL { <i>i</i> }	загрузка настроек <i>i</i>
*RST	сброс прибора и загрузка начальных настроек производителя
*SAV{ <i>i</i> }	сохранение текущих настроек в ячейке памяти <i>i</i>
*WAI	дождаться завершения всех текущих измерений
УПРАВЛЕНИЕ РЕГИСТРАМИ СОСТОЯНИЯ	
*CLS	очистить все регистры состояния
*ESE(?) { <i>i</i> }	запись (запрос) значения <i>i</i> (0-255) в качестве маски (регистра разрешения) регистра стандартного события
*ESR? { <i>i</i> }	запрос байта регистра стандартного события (если указано <i>i</i> , то только состояние бита <i>i</i>)
*PSC(?) { <i>i</i> }	установка (запрос состояния) выполнения сброса при включении питания прибора: очистка регистров (<i>i</i> = 1) или без очистки регистров (<i>i</i> = 0)
*SRE(?) { <i>i</i> }	запись (запрос) значения <i>i</i> (0-255) в качестве маски (регистра разрешения) байта состояния (суммарный регистр)
*STB? { <i>i</i> }	запрос байта состояния (суммарный регистр) (если указано <i>i</i> , то только состояние бита <i>i</i>)
SENA(?) { <i>i</i> }	запись (запрос) значения <i>i</i> (0-255) в качестве маски (регистра разрешения) регистра состояния LCR
STAT? { <i>i</i> }	запрос байта регистра состояния (если указано <i>i</i> , то только состояние бита <i>i</i>)

Индикация состояния и сообщения об ошибках

PROTEK 9216A имеет три светодиодных индикатора состояния процессов выполнения команд и обмена информацией, расположенные на передней панели справа от алфавитно-цифровых дисплеев. Они отображают состояние и помогают оценить правильность работы прибора в процессе его дистанционного управления. Светодиод **ACT** мигает при получении или посылке символа через любой интерфейс. Светодиод **ERR** мигает при обнаружении ошибки, например, недопустимая команда или параметр. Светодиод **REM** горит, если PROTEK 9216A находится в состоянии дистанционного управления (заблокированы кнопки управления на передней панели).

Сообщения об ошибках PROTEK 9216A при выполнении команд делятся на два типа: ошибки команд и ошибки их выполнения. Ошибки команд – это синтаксические ошибки, например, нераспознаваемая команда, недопустимый запрос, отсутствие признака окончания или отсутствие обязательного числового параметра. Ошибки выполнения команд – это ошибки, возникшие при выполнении синтаксически правильных команд, например, значение параметра превышает допустимый диапазон или команда недопустима для текущего режима работы прибора.

Бит НЕТ КОМАНД – это бит в суммарном регистре, указывающий на отсутствие в очереди команд ожидающих выполнения. Этот бит сбрасывается при получении во входной буфер измерителя исполняемой команды и устанавливается, когда все команды в очереди выполнены. Бит НЕТ КОМАНД полезен для определения состояния, когда PROTEK 9216A выполнил все посланные команды. Это важно, поскольку выполнение некоторых команд требует продолжительного времени, например, измерение или автокалибровка, или когда нет другого способа убедиться, что выполнение команды завершено. Состояние бита НЕТ КОМАНД может быть считано при последовательном опросе (Serial Poll) в соответствии с стандартом шины GPIB. У интерфейса RS232 нет возможности считать этот бит. Обратите внимание, что попытка выяснить состояние этого бита посылкой запроса *STB? бессмысленна, поскольку сам запрос является исполняемой командой и возвращаемое значение будет всегда нулем.

Описание регистров состояния

Байт состояния (суммарный регистр)

Бит	Наименование	Назначение
0	Готов	PROTEK 9216A готов к измерению
1	Не используется	
2	Не используется	
3	LCR	немаскируемый бит изменения в регистре состояния LCR (маска регистра состояния LCR должна быть ненулевой)
4	MAV	выходной буфер GPIB содержит данные для передачи
5	ESB	немаскируемый бит изменения в регистре стандартного события (маска регистра стандартного события должна быть ненулевой)
6	RQS / MSS	бит запроса обслуживания измерителем
7	НЕТ КОМАНД	отсутствие в очереди невыполненных команд

Регистр стандартного события

Бит	Наименование	Назначение
0	OPC	устанавливается командой *OPC после завершения всех измерений
1	Не используется	
2	Ошибка запроса	переполнение выходного буфера (слишком много ответов ожидают очереди для передачи)
3	Не используется	
4	Ошибка выполнения	значение параметра команды превышает допустимый диапазон или команда недопустима при текущем режиме работы
5	Ошибка команды	выявлена синтаксическая ошибка команды, нераспознанная команда
6	URQ	устанавливается при нажатии любой кнопки
7	PON	устанавливается при включении питания

Регистр состояния LCR

Бит	Наименование	Назначение
0	Мат. ошибка	устанавливается при ошибке с плавающей запятой
1	Ошибка АЦП	устанавливается при ошибке аналого-цифрового преобразователя
2	Перегрузка	устанавливается при перегрузке усилителя
3	Ниже диапазона	устанавливается, если измеряемый параметр меньше нижней границы текущего диапазона измерения
4	Выше диапазона	устанавливается, если измеряемый параметр больше верхней границы текущего диапазона измерения
5	Превышение текущего диапазона	устанавливается, если параметр не может быть измерен при выбранном диапазоне измерения
6	Не используется	
7	Ошибка памяти	сохраненные настройки не получилось загрузить после включения прибора

Сортировка электронных компонентов

Использование измерителя LCR для сортировки электронных компонентов

PROTEK 9216A имеет режим работы позволяющий осуществлять сортировку компонентов с целью проверки продукции, входного контроля, подбора компонентов, а также сортировки разнородных компонентов с подобным измеряемым параметром. Режим сортировки исключает необходимость считывания результатов измерения для основного и дополнительного параметров и последующего принятия решения, в какую из корзин поместить проверяемый компонент. Кнопки STO и RCL позволяют для девяти корзин задавать или отображать на дисплее критерии, по которым затем производится сортировка. Критерии для сортировки можно также задавать дистанционно через интерфейс с компьютера. PROTEK 9216A позволяет сортировать партию компонентов по нескольким (до 10) корзинам: до 8 корзин для компонентов, удовлетворяющих заданным для них критериям, корзину для компонентов, не удовлетворяющих критерию по дополнительному параметру и корзину для компонентов, не удовлетворяющих всем заданным критериям. Управление сортировкой можно осуществлять с помощью кнопок зоны настроек **SETUP**, через интерфейсы (штатный RS232 или дополнительный GPIB) с компьютера, а также через интерфейс сортировочного устройства.

Режимы сортировки

PROTEK 9216A поддерживает три различных схемы сортировки: ГОДЕН/НЕТ, по отклонению от номинала и по номиналу. При схеме ГОДЕН/НЕТ производится сортировка на две части: удовлетворяющие критериям компоненты и все остальные. При схеме по отклонению от номинала имеется один номинал для компонентов, и сортировка производится прогрессивно по превышению отклонения (например, $\pm 1\%$, $\pm 2\%$, $\pm 3\%$ и т.д.). При схеме по номиналу могут быть заданы различные номинальные значения для каждой корзины с отклонением от них в процентах (например, $0.9 \times$ номинал, $0.95 \times$ номинал, $1.0 \times$ номинал, $1.05 \times$ номинал с отклонением 5%). Или, напротив, при этой схеме сортировки может быть задан единый номинал для всех корзин и ассиметричные отклонения (например, от -3% до -1% , от -1% до 1% , до 3%). Отклонения для каждой корзины парные и могут быть симметричными (например, $\pm 2\%$) или асимметричными (например, от -5% до -1%).

Примеры сортировки

Сортировка по отклонению от номинала

Допустим, нужно сортировать партию резисторов 100 Ом по допускам. В этом случае корзины для сортировки могут быть выбраны следующим образом:

- корзина 0: $99 \text{ Ом} < R < 101 \text{ Ом} (\pm 1\%)$;
- корзина 1: $98 \text{ Ом} < R < 99 \text{ Ом}, 101 \text{ Ом} < R < 102 \text{ Ом} (\pm 2\%)$;
- корзина 2: $97 \text{ Ом} < R < 98 \text{ Ом}, 102 \text{ Ом} < R < 103 \text{ Ом} (\pm 3\%)$;
- корзина 3: $96 \text{ Ом} < R < 97 \text{ Ом}, 103 \text{ Ом} < R < 104 \text{ Ом} (\pm 4\%)$;
- корзина 8: компоненты, не удовлетворяющие критерию по дополнительному параметру (например, слишком большое значение Q);
- корзина 9: компоненты, непопавшие ни в одну из корзин.

Рисунок 4-1 иллюстрирует пример сортировки по отклонению от номинала.

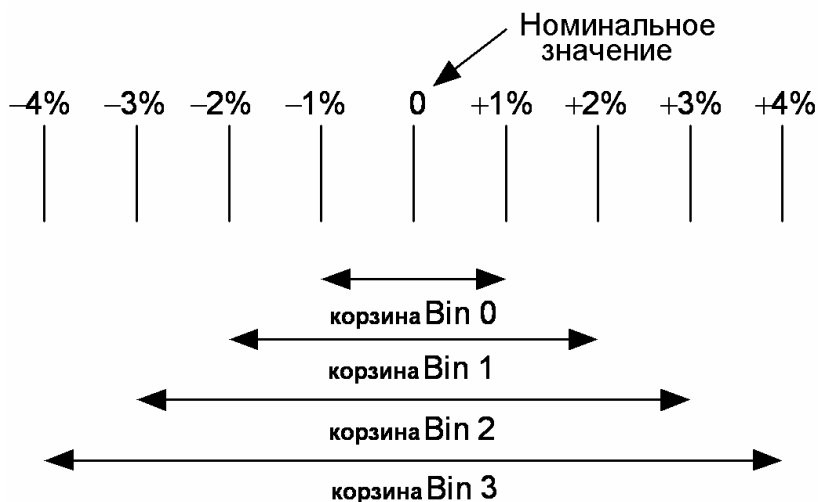


Рисунок 4-1. Пример сортировки по отклонению от номинала

Сортировка по различным номиналам

Предположим, что нужно сортировать партию резисторов одного номинала 100 Ом по их реальному сопротивлению вместо сортировки по допускам, как в предыдущем примере. Для десяти корзин могут быть установлены различные номинальные значения и для каждой корзины возможна установка допуска отклонения от номинала в процентах:

- корзина 0: 98 Ом $\pm 1\%$;
- корзина 1: 100 Ом $\pm 1\%$;
- корзина 2: 102 Ом $\pm 1\%$;
- корзина 3: 104 Ом $\pm 1\%$;
- корзина 4: 106 Ом $\pm 1\%$;
- корзина 8: компоненты, не удовлетворяющие критерию по дополнительному параметру (например, слишком большое значение Q);
- корзина 9: компоненты, непопавшие ни в одну из корзин.

Рисунок 4-2 иллюстрирует пример сортировки по различным номиналам.

корзина Bin 0	корзина Bin 1	корзина Bin 2	корзина Bin 3	корзина Bin 4	■ ■ ■	■ ■ ■
98 Ом	100 Ом	102 Ом	104 Ом	106 Ом	...	
±1%	±1%	±1%	±1%	±1%		

Рисунок 4-2. Пример сортировки по различным номиналам

Сортировка по одному номиналу с асимметричными отклонениями

Предположим, что нужно сортировать партию резисторов одного номинала 100 Ом по допускам, как и в первом примере, но верхние и нижние границы допусков должны быть различными. Для десяти корзин могут быть установлены одинаковые номинальные значения и для каждой корзины установлен свой асимметричный допуск отклонения от номинала в процентах:

корзина 0:	95 Ом < R < 97 Ом	(−5%, −3%)
корзина 1:	97 Ом < R < 99 Ом	(−3%, −1%)
корзина 2:	99 Ом < R < 101 Ом	(−1%, +1%)
корзина 3:	101 Ом < R < 103 Ом	(+1%, +3%)
корзина 4:	103 Ом < R < 105 Ом	(+3%, +5%)
корзина 8:	компоненты, не удовлетворяющие критерию по дополнительному параметру (например, слишком большое значение Q);	
корзина 9:	компоненты, непопавшие ни в одну из корзин.	

Рисунок 4-3 иллюстрирует пример сортировки с единым номиналом и асимметричными отклонениями для каждой корзины.

						Номинальное значение	
корзина Bin 0	корзина Bin 1	корзина Bin 2	корзина Bin 3	корзина Bin 4	■ ■ ■	■ ■ ■	
−5%	−3%	−1%	+1%	+3%	+5%		

Рисунок 4-3. Пример сортировки с единым номиналом и асимметричными отклонениями для каждой корзины

Общие процедуры

Значения параметров сортировки может быть ведены вручную при помощи кнопок **BIN#**, **NOM**, и **LIM**, а также через штатный интерфейс RS232 или дополнительный интерфейс GPIB.

Корзина определяется своим номером, и для нее устанавливается свое номинальное значение, а также верхнее и нижнее допустимое отклонение (в процентах). Если для какой-либо из корзин номинальное значение не введено, то ей автоматически задается номинальное значение корзины с номером на единицу меньше. Корзина 0 является исключением; если для корзины 0 не было задано номинальное значение и допуск, то в нее не попадет ни один из компонентов. Компоненты, удовлетворяющие критериям более чем одной корзины, будут отнесены к корзине с меньшим номером. Поэтому наиболее узкий допуск должен задаваться для корзины с наименьшим номером. Любой компонент со значением параметра, попадающим в зазор между неперекрывающимися допусками корзин, будет отнесен к корзине 9. Если введено только одно допустимое отклонение, то оно будет принято как величина симметричного допуска ($\pm x\%$, где “x” введенное допустимое отклонение). Неиспользуемые корзины должны быть закрыты (иметь

0% значение допуска). После очистки корзин или после нажатия кнопок **RCL** → **[0]** → **ENTER** все корзины будут закрыты.

Компоненты, которые при сортировке могли бы быть отнесены и к корзине 9, и к корзине 8 (неудовлетворяющие по дополнительному параметру), будут помещены в корзину 8. Критерий по дополнительному параметру зависит от измеряемого дополнительного параметра. Если измеряемое значение Q отрицательное, то для критерия необходимо вводить абсолютное значение, и измеритель будет сравнивать абсолютное измеренное значение дополнительного параметра с значением критерия. Для корзины 8 не предусмотрен допуск, а есть только номинальное значение. Для использования корзины 8 при сортировке задайте для нее номинальное предельное значение дополнительного параметра согласно таблице 4-1.

Таблица 4-1. Критерий по дополнительному параметру и его максимальные значения

Режим измерения	Критерий по дополнительному параметру	Максимальное значение
R + Q	максимальное Q	9999.9
L + Q	минимальное Q	0
C + D	максимальное D	9999.9
C + R, последовательная	максимальное R	99999
C + R, параллельная	минимальное R	0

Настройка корзин

Процедуры

Начальная установка

Ввод данных для настройки корзин нельзя осуществить при автоматическом режиме измерения AUTO. Сначала необходимо правильно выбрать требуемый режим измерения (R+Q, L+Q, C+D или C+R). Нажатие кнопки **BIN#** переводит прибор в режим настройки корзин с соответствующим отображением на дисплее. Для того чтобы удалить предыдущие настройки корзин, нажмите кнопку **BIN#**, пока не появится сообщение "bin CLEAR".

Нажмите кнопку **ENTER**, при этом настройки корзин будут очищены и появится сообщение "CLEAR donE".

Для ввода новых данных или редактирования старых (если перед этим не была выполнена очистка корзин) нажмите кнопку **BIN#**, пока не появится сообщение "bin x". Введите номер требуемой корзины (нажмите одну из кнопок от **0** до **8**, а затем **ENTER**). Номер корзины будет отображен на правом алфавитно-цифровом дисплее. Для этой корзины теперь можно последовательно ввести номинальное значение и значения предельных отклонений.

Номинальное значение для корзин 0 ÷ 7

Для ввода номинального значения нажмите кнопку **NOM**, при этом загорится светодиод **NOM**, расположенный под алфавитно-цифровым дисплеем. На левом дисплее будет отображено текущее номинальное значение для данной корзины или "----" если корзина предварительно была закрыта. Если для этой корзины необходимо номинальное значение, то введите его с помощью цифровых кнопок и

кнопок размерности. На дисплее появится новое номинальное значение, включая его размерность. Помните, что номинальное значение не обязательно вводить для каждой корзины. Если оно не введено, то в качестве него используется номинальное значение корзины с номером на единицу меньшим.

Предельные отклонения для корзин 0 ÷ 7

Для ввода значений предельных отклонений нажмите кнопку **LIM**. На дисплее появится текущее значение верхнего предельного отклонения, или “—”, если оно не было введено ранее. При этом загорится светодиод **+LIM**, расположенный под алфавитно-цифровым дисплеем. Введите значение верхнего предельного отклонения в процентах с помощью цифровых кнопок и кнопки **ENTER**. Если необходимо ввести ассиметричные предельные отклонения, нажмите кнопку **LIM** еще раз для отображения на дисплее текущего значения нижнего предельного отклонения. При этом загорится светодиод **-LIM**. Введите значение нижнего предельного отклонения по аналогии со значением верхнего отклонения. Для симметричных предельных отклонений достаточно ввести только значение верхнего предельного отклонения, а в качестве нижнего будет автоматически принято тоже значение, но со знаком минус. Если значение предельного отклонения не было введено для корзины, то она останется закрытой, даже если для нее было введено номинальное значение.

Параметры для корзин 8 и 9

Для ввода значения критерия по дополнительному параметру выберите корзину 8 (используя кнопки **BIN#**, **8** и **ENTER**) и нажмите кнопку **NOM**. После чего на правом алфавитно-цифровом дисплее появится текущее значение критерия по дополнительному параметру или “—” и загорится светодиод **NOM**. Введите значение с помощью цифровых кнопок и нажмите кнопку **ENTER**. Значение сопротивления для режима C+R вводится в Омах (поскольку допустимый диапазон сопротивления только от 0 до 9999 Ом, то кнопки **kΩ** и **MΩ** не используются). Для корзины 8 допуск не требуется.

Для корзины 9 не требуется устанавливать никакие параметры. В эту корзину попадают все компоненты, непопавшие в другие корзины.

Включение режима сортировки

Для включения или отключения режима сортировки нажмите кнопку **BIN#**, пока на дисплее не появится сообщение “Sort Off” или “Sort On”. После чего нажатием кнопки **ENTER** можно включить или отключить режим сортировки. О включенном режиме сортировки свидетельствует горящий светодиод **BINNING**, при этом будет активен дисплей режима сортировки и интерфейс сортировочного устройства (если он имеется). Интерфейс сортировочного устройства активен всегда при включенном режиме сортировки, независимо от того включен или нет дисплей сортировки. Для получения более подробной информации смотрите раздел “Дополнительный интерфейс сортировочного устройства” в главе 3, части 2 настоящего руководства.

Использование технологической карты и редактирование настроек

Перед вводом настроек сортировки рекомендуем сначала заполнить технологическую карту, приведенную ниже в таблице 4-2. Это упростит и сделает наглядной процедуру ввода.

Кроме того, рекомендуем сохранять в памяти, наиболее часто используемые настройки сортировки. Некоторые настройки могут впоследствии редактироваться,

например, настройки для сортировки однопроцентных резисторов с некоторым номиналом, если номинал был введен только для корзины 0, легко перенастроить для аналогичной сортировки резисторов с другими номиналами простым изменением номинала для корзины 0. По этой же причине зачастую удобнее использовать сортировку по одному номиналу с различными процентными отклонениями, чем сортировку по различным номинальным значениям. Рекомендуем также проверять перед началом сортировки установки номинальных значений и величин отклонений для всех корзин, чтобы убедиться, что они не были кем-либо случайно изменены. Просмотр их осуществляется аналогично их вводу, с той лишь разницей, что не надо нажимать кнопку **ENTER**, если нет необходимости в изменении каких-либо значений.

Таблица 4-2. Технологическая карта настроек сортировки

Дата:			
Номинальное значение компонента:			
Допуск сортировки:			
Ф.И.О. выполнявшего настройку прибора:			
Схемы сортировки:		ГОДЕН/НЕТ по отклонению по номиналу	
Корзина (BIN#)	Номинал (NOM)	Верхний предел отклонения +(LIM)	Нижний предел отклонения -(LIM)
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8		----	----
9	----	----	----

Резюме настроек режимов сортировки

Схема сортировки ГОДЕН/НЕТ

Введите номинальное значение и значение предельного отклонения для корзины 0. Введите значение критерия по дополнительному параметру для корзины 8. Убедитесь, что все остальные корзины закрыты (установлено нулевое значение предельного отклонения). Компоненты, непопавшие в корзину 0, будут отнесены в корзину 8 или корзину 9.

Схема сортировки по отклонению от номинала

Введите номинальное значение и значение предельного отклонения для корзины 0. Для остальных корзин введите только значения предельных отклонений, следя за тем, чтобы корзины с меньшим номером имели меньший допуск. Введите значение критерия по дополнительному параметру для корзины 8. Убедитесь, что все неиспользуемые корзины закрыты. Компоненты будут сортироваться по корзинам согласно допуску. Компоненты неудовлетворяющие критерию по дополнительному параметру будут отнесены в корзину 8, а все остальные в корзину 9.

Схема сортировки по номиналу

При схеме сортировки по номиналу с одним номиналом для всех корзин и ассиметричными отклонениями процедура настройки аналогична описанной выше.

При схеме сортировки по номиналу с различными номинальными значениями для корзин введите номинальные значения и значения предельных отклонений для каждой открытой корзины. Если предельные отклонения симметричны, то введите только значения для верхних отклонений. Введите значение критерия по дополнительному параметру для корзины 8. Убедитесь, что все неиспользуемые корзины закрыты (установлено нулевое значение предельного отклонения) и отсутствуют нежелательные зазоры по основному параметру между отклонениями корзин.

Компоненты будут сортироваться по корзинам согласно заданным критериям. Компоненты неудовлетворяющие критерию по дополнительному параметру будут отнесены в корзину 8, а все остальные в корзину 9.

Устранение неисправностей

Рекомендации по устранению неполадок

В этой главе приводятся советы по поиску и устранению наиболее часто встречающихся неполадок.

Неполадки общего характера

Замечания по включению питания прибора

Убедитесь, что в модуле подключения шнура питания установлено сетевое напряжение, соответствующее применяемому в Вашем регионе, что установлен требуемый предохранитель, и что разъем шнура питания полностью вставлен в гнездо модуля. Выбранное напряжение питания сети можно видеть через прозрачное окошко, расположенное под предохранителем.

После подключения прибора к сети и включения его питания на дисплее непродолжительно будут отображены версия прошивки внутренней программы и модель прибора. Затем будет выполнена процедура самопроверки.

Процедура сброса

Если прибор отображает "бессмысленные" сообщения, то, возможно, выйти из этой ситуации поможет процедура сброса – "холодной загрузки". Для выполнения сброса выключите питание прибора. Удерживая нажатую кнопку заборя [←], включите питание прибора. Эта процедура инициализирует ПЗУ и загружает начальные настройки и параметры производителя. Начальные настройки и параметры производителя описаны в части 1 данного руководства по эксплуатации.

Проверка внутреннего предохранителя

Если после включения питания прибор сначала работал нормально, а затем его показания стали нестабильными или неточными, то, возможно, вышел из строя плавкий предохранитель, расположенный внутри прибора. Появления сообщения о неисправности этого предохранителя возможно также при самопроверке прибора после включения питания ("Out Err3"). Для замены предохранителя необходимо снять верхнюю часть прибора. Перед этим выключите прибор и отсоедините от него сетевой шнур. Затем выверните четыре винта расположенных на нижней панели прибора. Поставьте прибор на его ножки правой стороной вверх и осторожно сдвиньте пластиковый верх с металлического основания.

Необходимо, очень плавно сдвигая, отделить верх прибора вместе с ножками от разъемов и задней панели. После снятия верха поставьте его на левый бок рядом с прибором во избежание повреждения кабелей, идущих к передней панели.

Внутренний предохранитель расположен вблизи разъемов с правой стороны прибора. Извлеките старый предохранитель и удостоверьтесь, что он вышел из строя. Если предохранитель поврежден, то замените его новым 250В/250мА предохранителем. Установите на место верх прибора, надвинув его поверх разъемов и задней панели. В завершение зафиксируйте сборку четырьмя винтами.

Проверка предохранителя внешнего источника смещения

Если показания прибора стали нестабильными или неточными при использовании напряжения смещения от внешнего источника то, возможно, вышел из строя плавкий предохранитель внешнего источника напряжения смещения. Перед заменой предохранителя выключите прибор и отсоедините от него сетевой шнур. При помощи отвертки извлеките держатель вместе с предохранителем из задней панели прибора. Возможно, предохранитель исправен, поэтому проверьте его сопротивление с помощью омметра. Если предохранитель поврежден, то замените его новым предохранителем 250В/250мА. Установите на свое место держатель вместе с предохранителем и убедитесь в работоспособности прибора.

Сообщения об ошибках

В этом разделе приводится перечень возможных сообщений об ошибках PROTEK 9216A. Все сообщения об ошибках разделены на три группы: ошибки управления (неверные действия оператора); ошибки самопроверки прибора и ошибки калибровки. Сообщения об ошибках приводятся ниже в порядке английского алфавита.

Ошибки управления

Описываемые ниже сообщения об ошибках могут появиться при ошибочных действиях в процессе обычного управления прибором с передней панели.

<u>Сообщение</u>	<u>Значение</u>
Bias For C	Использование функции напряжения смещения PROTEK 9216A возможно только при измерении емкости. Для использования функции напряжения смещения включите режим измерения C+D или C+R.
Cony Error	Эта ошибка может быть вызвана слишком коротким или слишком длительным аналого-цифровым преобразованием. Если эта ошибка появляется часто, то это может означать неисправности внутренних частей прибора.
Float Error	Имеется ошибка программы обработки чисел с плавающей запятой.
F-R Error	Недопустимая комбинация выбора частоты и диапазона. Диапазон 100 кОм не может быть выбран при использовании частоты тестового сигнала 100 кГц.
Over Load	Перегрузка входа PROTEK 9216A. Эта ситуация может быть случайной, например, при замене тестируемого прибора или в случае попытки измерения прибора с малым импедансом при включенном режиме постоянного напряжения смещения.
Over Range	Измеряемый импеданс не попадает в текущий диапазон PROTEK 9216A. Если включен режим фиксированного диапазона, выберите больший диапазон.

Range Error	Указанный в команде параметр находится за допустимыми для данной команды пределами.
Rcl Error	Энергонезависимая память имеет повреждение информации. Калибровки и настройки, сохраненные пользователем, могут быть потеряны. Если это сообщение появляется часто, проверьте батарею.
Syn Error	Неверный синтаксис команды. Для правильного написания команд обратитесь к разделу "Использование команд" в главе 3, части 2 настоящего руководства.

Ошибки самопроверки прибора

Эти ошибки могут быть появляться при самопроверке PROTEK 9216A. В основном они связаны с возможными неисправностями внутренних электронных частей прибора. Частое появление этих ошибок свидетельствует об электрических неисправностях. Сообщения об ошибках приводятся в порядке английского алфавита. Кроме того, приводятся соответствующие им значения статуса, возвращаемые прибором по запросу `"*TST?"`.

<u>Сообщение</u>	<u>Статус</u>	<u>Значение</u>
AD Error	6	Неполадки при проверке АЦП. При проверке измеряется 0 В и ± 2 В постоянного тока.
Bias Error	7	Неполадки при проверке внутреннего источника напряжения смещения PROTEK 9216A.
Cal Error	4	Утрачены данные калибровки в ОЗУ, начальные установки производителя загружены из ПЗУ. Появление данного сообщения изредка не является неисправностью. В противном случае необходимо проверить внутреннюю батарею питания.
Code Err <i>XX</i>	2	Ошибка при проверке контрольной суммы ПЗУ PROTEK 9216A. <i>XX</i> – значение контрольной суммы.
CPU Error	1	PROTEK 9216A обнаружил неполадки ЦП.
Data Error	3	Ошибки при проверке записи/чтении ОЗУ ЦП.
Det Error	6	Неполадки при проверке схемы подавления постоянного тока умножителя меандра.
Drv Error <i>i</i>	7	Неполадки при проверке схемы выходного тестового сигнала. <i>i</i> – код ошибки, локализирующий неисправность.
	<i>i</i>	<u>код ошибки</u>
	0	нет напряжения при частоте 100 Гц
	1	нет напряжения при частоте 120 Гц
	2	нет напряжения при частоте 1 кГц
	3	нет напряжения при частоте 10 кГц
	4	нет напряжения при частоте 100 кГц
	5	нет напряжения после аттенюатора 0.25 В
	6	нет напряжения после аттенюатора 0.1 В

Freq Error <i>i</i>	5	Неполадки при проверке тактового генератора. <i>i</i> – код ошибки, локализирующий неисправность.
<i>i</i>	<u>ошибка</u>	
	0	нет частоты 100 Гц
	1	нет частоты 120 Гц
	2	нет частоты 1 кГц
	3	нет частоты 10 кГц
	4	нет частоты 100 кГц
Gain Error <i>i</i>	8	Неполадки при проверке коэффициента усиления измерительного усилителя. <i>i</i> – код ошибки, локализирующий неисправность.
<i>i</i>	<u>ошибка</u>	
	0	не действует коэффициент усиления ×2
	1	не действует коэффициент усиления ×4
	2	не действует коэффициент усиления ×8
	3	не действует коэффициент усиления ×20
Out Error <i>i</i>	9	Неполадки при проверке схемы выбора импеданса источника. Это сообщение может появиться, если при проведении самопроверки в фиксаторе находился электронный компонент. <i>i</i> – код ошибки, локализирующий неисправность.
<i>i</i>	<u>ошибка</u>	
	0	неисправен диапазон 100 кОм
	1	неисправен диапазон 6.4 кОм
	2	неисправен диапазон 400 Ом
	3	неисправен диапазон 25 Ом

Ошибки калибровки

Эти сообщения об ошибках могут появляться при проведении процедур калибровки нуля для закороченной и для разомкнутой цепи или калибровки образцовыми резисторами. При их появлении заново повторите калибровку. Частое появление этих ошибок свидетельствует о неисправности внутренних электронных частей прибора. Конструкция данного прибора предполагает калибровку любого экземпляра, без каких либо проблем и ограничений. Сообщения об ошибках приводятся в порядке английского алфавита. Кроме того, приводятся соответствующие значения статуса, возвращаемые прибором по запросу "**CAL?".

<u>Сообщение</u>	<u>Статус</u>	<u>Значение</u>
Cal Error	1	Неудача измерения из-за перегрузки, ошибка АЦП, или ошибка математики. Эта ошибка может появиться при проведении процедур калибровки нуля для закороченной или для разомкнутой цепи, а также калибровки образцовыми резисторами.
Cal Error	2	Измеренный импеданс при калибровке нуля для закороченной цепи слишком большой. PROTEK 9216A при этой калибровке ожидает импеданс < 50 Ом и сопротивление < 10 Ом. Обеспечьте качественное низкоимпедансное закорачивание контактов фиксатора в

		течение всей процедуры калибровки нуля для закороченной цепи.
Cal Error	3	Измеренный импеданс при калибровке нуля для разомкнутой цепи слишком мал. PROTEK 9216A при этой калибровке ожидает импеданс $> 10 \text{ кОм}$ для любой частоты или диапазона. Убедитесь в отсутствии тестируемых приборов в фиксаторе при калибровке нуля для разомкнутой цепи. А также держите руки или любые посторонние предметы подальше от фиксатора компонентов в течение всей процедуры калибровки нуля для разомкнутой цепи.
Cal Error	4	Ошибка калибровки образцовыми резисторами. PROTEK 9216A ожидает, что величины внутренних стандартов сопротивлений не будет изменяться более чем на $\pm 3\%$ при калибровке образцовыми резисторами. Убедитесь, что в фиксатор установлен соответствующий калибруемому диапазону образцовый резистор.

Возможные неполадки GPIB

Во-первых, убедитесь, что интерфейс GPIB установлен в приборе. Во-вторых, убедитесь, что физически установленный в PROTEK 9216A адрес GPIB соответствует его адресу, используемому при управлении с компьютера. Изначально изготовителем в приборе установлен адрес GPIB 17, поэтому желательно использовать его при написании управляющих программ для PROTEK 9216A. Прибору может быть присвоен любой адрес от 0 до 30 с помощью переключателей SW2, расположенных на задней панели прибора.

При активации дистанционного управления (REM) через GPIB управление кнопками с передней панели PROTEK 9216A блокируется. Режим дистанционного управления индицируется светодиодом REM. Для возврата к обычному управлению (т.е. разблокировке кнопок передней панели), нажмите кнопку заборя [←]. Однако управляющая программа может в свою очередь заблокировать эту возможность, включив режим запрета (LLO).

Символом конца строки у PROTEK 9216A является символ "line feed" (перевод строки, 0Ah в коде ASCII) и сигнал EOI (конец или идентификация). Убедитесь, что Ваш GPIB контроллер настроен на прием этой последовательности.

Возможные неполадки RS-232

Убедитесь, в соответствии настройкам управляющего компьютера настроек интерфейса RS-232 у прибора: скорость обмена, проверка четности и длина слова. Изначально производителем установлено следующее: скорость обмена 1200 бод, без проверки четности, с длиной слова данных 8 бит. При передаче PROTEK 9216A всегда посылает два стоп-бита, сам же он может корректно принимать посылки с одним или двумя стоп-битами.

При подключении к персональному компьютеру используйте стандартный кабель для последовательного интерфейса, а не нуль-модемный кабель. Аппаратно PROTEK 9216A имеет организацию DCE-устройства (Data Communications Equipment, устройство передачи данных) и для его подключения требуется "полный" DTE кабель. Тем не менее, допускается использование "минимального" кабеля, обеспечивающего подключение контактов 2, 3 и 7. Для обмена с квитированием требуется обязательное подключение контактов 5 и 20 (CTS и DTR), а иногда контактов 6 и 8 (DSR и CD), используемых PROTEK 9216A.

Приложение

Ведомость проверки характеристик PROTEK 9216A

Серийный №:	Дата:
Ф.И.О. проверяющего:	
Используемое оборудование:	

Проверка работоспособности			
		Прошел	Не прошел
Проверка передней панели			
Самопроверка			
Проверка выходного напряжения			
Проверка работоспособности при измерении сопротивления	24.9 Ом		
	400 Ом		
	6.4 кОм		
	100 кОм		
Проверка работоспособности при измерении емкости			

Проверка частоты			
Проверка частоты	Минимальное	Измеренное	Максимальное
100 Гц	99.99 Гц		100.01 Гц
120 Гц	119.99 Гц		120.01 Гц
1 кГц	999.90 Гц		1000.1 Гц
10 кГц	9999.0 Гц		10001.0 Гц
100 кГц	99990.0 Гц		100010.0 Гц

Проверка амплитуды				
Напряжение	Частота	Минимальное	Измеренное	Максимальное
1.0 В _{эфф.}	1 кГц	0.98 В _{эфф.}		1.02 В _{эфф.}
1.0 В _{эфф.}	100 Гц	0.98 В _{эфф.}		1.02 В _{эфф.}
1.0 В _{эфф.}	120 Гц	0.98 В _{эфф.}		1.02 В _{эфф.}
1.0 В _{эфф.}	10 кГц	0.98 В _{эфф.}		1.02 В _{эфф.}
1.0 В _{эфф.}	100 кГц	0.98 В _{эфф.}		1.02 В _{эфф.}
0.25 В _{эфф.}	1 кГц	0.245 В _{эфф.}		0.255 В _{эфф.}
1.0 В _{эфф.}	1 кГц	0.098 В _{эфф.}		0.102 В _{эфф.}
Внутренний источник напряжения смещения		1.96 В постоянного тока		2.04 В постоянного тока

Проверка погрешности при измерении сопротивлений					
Сопротивление	Диапазон	Условия	Значение	Прошел	Не прошел
10.0 Ом	3	1 кГц, последовательная			
25.0 Ом	3	1 кГц, последовательная			
25.0 Ом	3	10 кГц, последовательная			
25.0 Ом	3	100 кГц, последовательная			
100.0 Ом	3	1 кГц, последовательная			
100.0 Ом	2	1 кГц, последовательная			
400.0 Ом	2	1 кГц, последовательная			
400.0 Ом	2	10 кГц, последовательная			
400.0 Ом	2	100 кГц, последовательная			
1.6000 кОм	2	1 кГц, параллельная			
1.6000 кОм	1	1 кГц, параллельная			
6.4000 кОм	1	1 кГц, параллельная			
6.4000 кОм	1	10 кГц, параллельная			
6.4000 кОм	1	100 кГц, параллельная			
25.0000 кОм	1	1 кГц, параллельная			
25.0000 кОм	0	1 кГц, параллельная			
100.0000 кОм	0	1 кГц, параллельная			
100.0000 кОм	0	10 кГц, параллельная*			
400.0000 кОм	0	1 кГц, параллельная			

* При добротности Q больше 0.1 допустимая погрешность должна быть умножена на (1+Q).

Проверка погрешности при измерении емкостей					
Емкость	Частота	Диапазон	Значение	Прошел	Не прошел
1.0 нФ	1 кГц	0			
1.0 нФ	10 кГц	1			
1.0 нФ	100 кГц	2			
10.0 нФ	100 Гц	0			
10.0 нФ	1 кГц	1			
10.0 нФ	10 кГц	2			
10.0 нФ	100 кГц	2			
100 нФ	100 Гц	1			
100 нФ	1 кГц	2			
100 нФ	10 кГц	2			
100 нФ	100 кГц	3			
1.000 мкФ	100 Гц	2			
1.000 мкФ	1 кГц	2			
1.000 мкФ	10 кГц	3			
10.000 мкФ	100 Гц	2			
10.000 мкФ	1 кГц	3			