

Перечень некоторых часто встречающихся условных обозначений

СИ — средство измерений

ИМ — измерительный механизм

ЭСИ — эталонное средство измерений

НД — нормативная документация

ПП — поверяемый прибор

ТД — техническая документация

ПУ — поверочная установка

МП — масштабный преобразователь

НЭ — нормальный элемент

КН — калибратор напряжения

КТ — калибратор тока

ЦИП — цифровой измерительный прибор

ППТ — потенциометр постоянного тока

ИТТ — измерительный трансформатор тока

ИТН — измерительный трансформатор напряжения

ВВЕДЕНИЕ

Средства электрических измерений предназначены для получения достоверной количественной информации о характеристиках веществ, материалов, изделий, технологических процессов и физических явлений. Средствами электрических измерений называются технические средства, используемые при электрических измерениях и имеющие нормированные метрологические характеристики. По функциональному назначению различают следующие средства электрических измерений:

- эталоны единиц измерений;
- меры электрических величин;
- измерительные преобразователи;
- электроизмерительные приборы;
- электроизмерительные установки;
- измерительные информационные системы.

Эталон единицы величины — средство измерений, предназначенное для воспроизведения и хранения единицы физической величины с целью передачи ее размера другим средствам измерений данной величины.

Различают государственные (первичные), вторичные и рабочие эталоны.

Государственный (первичный) эталон единицы величины — эталон единицы величины, признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории Российской Федерации. Таковыми являются, например, государственные эталоны метра, килограмма, секунды, ампера и т. д.

Вторичным эталоном называется эталон, получающий размер единицы непосредственно от государственного эталона данной единицы. Эти эталоны обеспечивают сохранность и меньший износ государственного эталона при организации передачи размера единицы рабочим эталонам. По метрологическому назначению вторичные эталоны бывают следующих видов:

- эталоны сравнения, применяемые для сличения эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличены друг с другом;
- эталоны-копии, предназначенные для передачи размера единицы рабочим эталонам.

Рабочий эталон — эталон, предназначенный для передачи размера единицы рабочим средствам измерений. При необходимости рабочие эталоны подразделяются на разряды (0-й, 1-й, 2-й и т. д.).

Мера электрической величины — средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера. Например, резистор является мерой воспроизведения физической величины — электрического сопротивления определенного размера с известной точностью. К мерам электрических величин относятся нормальные элементы (меры постоянной ЭДС), магазины сопротивлений, емкостей, индуктивностей, калибраторы напряжения и тока и др.

Измерительный преобразователь — средство измерений, предназначенное для выработки сигналов измерительной информации, функционально связанных с измеряемой физической величиной, в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем.

По роду измеряемой величины измерительные преобразователи делятся на группы:

- 1) преобразователи электрических величин в электрические величины;
- 2) преобразователи магнитных величин в электрические величины;
- 3) преобразователи неэлектрических величин в электрические величины.

К преобразователям электрических величин в электрические величины относятся токовые шунты, делители напряжения, измерительные трансформаторы и другие устройства.

Преобразователи магнитных величин в электрические применяются при измерении магнитных величин. Примером таких преобразователей могут служить измерительные катушки и датчики Холла. К большой группе преобразователей неэлектрических величин в электрические относятся тензорезисторы (измерение механических деформаций, давлений, моментов), терморезисторы и термопары (измерение температур), индуктивные, емкостные преобразователи (измерение перемещений, давлений), лазерные дальномеры и многие другие, при помощи которых измеряемая неэлектрическая величина отображается электрической величиной, находящейся в определенной функциональной зависимости от измеряемой величины.

По виду выходного сигнала различают аналоговые измерительные преобразователи, имеющие на входе и выходе аналоговые (непрерывные) сигналы, аналого-цифровые измерительные преобразователи, у которых на входе аналоговый сигнал, а на выходе — цифровой (кодированный), и цифро-аналоговые измерительные преобразователи с кодированным сигналом на входе и аналоговым на выходе.

Электроизмерительный прибор — средство измерений, предназначенное для выработки сигналов измерительной информации, функционально связанных с измеряемой физической величиной, в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. По принципу действия измерительные приборы можно разделить на *приборы непосредственной оценки* и *приборы сравнения*. Для получения результата измерения физической величины в принятых единицах обязательно участвовать мера. В приборах непосредственной оценки мера применяется при градуировке, в приборах сравнения — непосредственно в процессе измерения, когда измеряемая величина сравнивается с известной величиной, воспроизводимой мерой. К приборам сравнения относятся мосты и потенциометры (компенсаторы).

Приборы непосредственной оценки, показания которых являются непрерывной функцией измеряемой величины, называются *аналоговыми приборами* или *приборами непрерывного действия*. Например, измерительный прибор с отсчетным устройством в виде шкалы со стрелкой.

Приборы непосредственной оценки, основанные на преобразовании непрерывной измеряемой величины в дискретную величину и автоматическирабатывающие кодированные сигналы измерительной информации, показания которых представляются в цифровой форме, называются *цифровыми приборами* или *приборами дискретного действия*.

В зависимости от назначения (считывание показаний, или считывание и их регистрация в той или иной форме, или только регистрация) электроизмерительные приборы делят на *показывающие* и *регистрирующие*.

В зависимости от принципа преобразования электромагнитной энергии, подводимой к прибору от измеряемой цепи, приборы непосредственной оценки делят на *электромеханические*, в которых эта энергия преобразуется в механическую энергию углового перемещения подвижной части измерительного механизма относительно неподвижной, и *электронно-лучевые*, в которых электромагнитная энергия используется для перемещения электронного луча в электронно-лучевой трубке (осциллографы).

По роду измеряемой величины электроизмерительные приборы делят на амперметры — для измерения тока, вольтметры — для измерения напряжения, ваттметры — для измерения мощности, омметры — для измерения электрического сопротивления и т. п.

В зависимости от степени усреднения измеряемой величины различают приборы, измеряющие *мгновенные* значения, и *интегрирующие*, показания которых определяются интегралом по времени или другой независимой от измеряемой величины переменной.

В зависимости от степени защищенности от климатических и механических воздействий приборы бывают обыкновенными, пыле-, водо-, брызгозащищенными, герметическими, удароустойчивыми и др.

Электроизмерительной установкой называют совокупность функционально и конструктивно объединенных средств измерений (например, измерительных приборов, преобразователей) и вспомогательных устройств, предназначенных для рациональной организации измерений и расположенных на одном рабочем месте. Примером может служить электроизмерительная установка для градуировки и поверки электроизмерительных приборов.

Измерительная информационная система (ИИС) представляет собой совокупность функционально объединенных средств измерений и вспомогательных устройств, соединенных между собой каналами связи и предназначенных для автоматического получения измерительной информации от ряда источников, а также для передачи, обработки и представления измерительной информации в требуемом виде или автоматического осуществления функций логического контроля, диагностирования и т. д. Например, системы автоматического контроля, системы технической диагностики.

Под каналом связи понимается совокупность технических средств, обеспечивающих передачу информации от передатчика информации к приемнику.

Разновидностью ИИС, получившей распространение в последние годы, является *измерительно-вычислительный комплекс (ИВК)*, представляющий собой автоматизированное средство измерений и обработки измерительной ин-

формации. Основной узел ИВК — свободно программируемая ЭВМ, используемая не только для обработки результатов измерения, но и для управления самим процессом измерения, а в случае необходимости и для управления воздействием на объект исследования.

Единство измерений не может быть обеспечено без специальных мер, осуществляемых в рамках всего государства. В Российской Федерации существует система метрологического обеспечения имеющихся в стране средств измерений, т. е. сеть государственных и негосударственных метрологических служб, деятельность которых направлена на обеспечение единства измерений и единства измерений. Эту сеть долгие годы возглавлял Государственный комитет Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации (Госстандарт), преобразованный 30 сентября 1992 года в Комитет Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации. Их преемником стало Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (краткое наименование — Ростехрегулирование). Постановлением Правительства Российской Федерации и Председателя Правительства Российской Федерации В. Путина от 9 июня 2010 г. № 408 «О внесении изменений в Положение о Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии» краткое наименование Федерального агентства Ростехрегулирование было заменено на Росстандарт.

Достижение единства измерений и единства измерений обеспечивается, прежде всего, их первичной поверкой или калибровкой при выпуске из производства, а в период эксплуатации — периодической поверкой или калибровкой, в процессе которых определяется соответствие метрологических характеристик установленным в документации нормам. Для поверки или калибровки измерительной техники используются более точные средства измерений, которые передают размер единицы физической величины рабочим средствам измерений (эталоны единиц величин).

РАЗДЕЛ I. СРЕДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Глава 1. Меры электрических величин

1.1. Меры ЭДС с использованием нормальных элементов

В соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 1954-82 «Меры электродвижущей силы. Элементы нормальные. Общие технические условия» изготавливают меры ЭДС на основе нормальных элементов классов точности от 0,02 до 0,0002. Рассмотрим более подробно устройство и принцип действия нормального элемента (НЭ).

Ртутно-кадмийевый-амальгамный элемент (нормальный элемент Вестона) — гальванический элемент, ЭДС (E) которого весьма стабильна во времени и воспроизводима от экземпляра к экземпляру (при температуре 20°C в диапазоне 1,018540...1,018730 В при эксплуатации и 1,018590...1,018700 В при выпуске из производства).

Следует учесть, что к нормальным элементам, кроме элемента Вестона, относят элемент Кларка (ртутно-цинк-амальгамный, предшественник элемента Вестона, $E(20^\circ\text{C}) = 1,4268$ В) и ртутно-цинковый нормальный элемент (применился до 1970-х гг. при требовании высокой механической стойкости, $E(20^\circ\text{C}) = 1,352 \pm 0,002$ В). Однако два последних заметно менее стабильны, чем нормальный элемент Вестона.

Вид и устройство нормального элемента Вестона показаны на рис. 1.1.

Классическая конструкция нормального элемента — буква Н из герметично запаянных стеклянных трубок, сообщающихся между собой и заполненных электролитом так, чтобы уровень воздуха лежал выше центральной перемычки. В нижних точках вертикальных трубок располагаются электроды токо-выводами наружу (впаянные платиновые проволочки). Тепловой медный экран предназначен для выравнивания температуры электродов, что повышает стабильность элемента. Вся конструкция помещается в теплоизолирующий корпус (у высокоточных элементов — с отверстием для термометра), служащий для уменьшения скорости изменения температуры.

Роль положительного электрода играет ртуть (1), контактирующая с пастами из кристаллов сульфата ртути Hg_2SO_4 (2) и гидрата сульфата кадмия $\text{CdSO}_4 + 8/3\text{H}_2\text{O}$ (3).

В качестве отрицательного электрода выступает 8–12,5%-ная амальгама (раствор в ртути) кадмия (4), контактирующая с пастой из кристаллов гидрата сульфата кадмия $\text{CdSO}_4 + 8/3\text{H}_2\text{O}$ (3).

Электролит (5) — раствор сульфата кадмия CdSO_4 , чаще всего с небольшой (нормальностью обычно 0,03–0,08) добавкой серной кислоты для предотвращения гидролиза сульфата ртути, снижения его растворимости и снижения скорости растворения стекла (в чём и заключается различие между «нейтральными» и «кислотными» элементами). Если электролит находится в ненасыщен-

ном состоянии, то такой нормальный элемент называется ненасыщенным. В ненасыщенных НЭ отсутствует гидрат сульфата кадмия (3) у электродов и они обладают несколько худшими характеристиками стабильности значения ЭДС и меньшими сроками службы по сравнению с насыщенными.

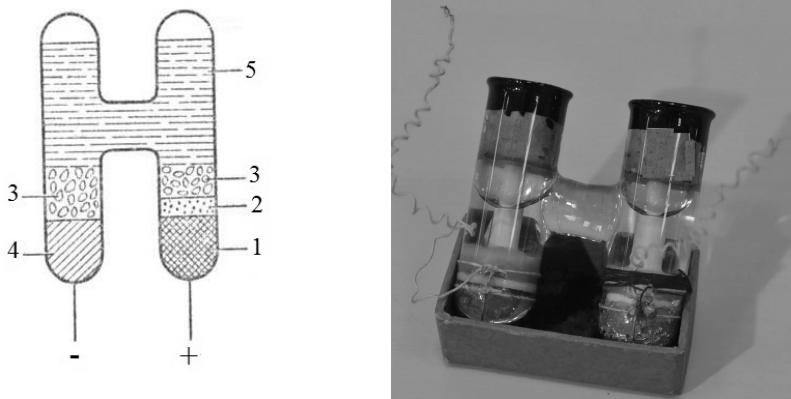
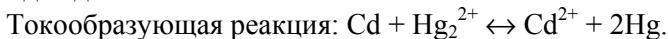


Рис. 1.1. Нормальный элемент Вестона: устройство (а); вид (б)

Все используемые материалы отличаются высокой чистотой, что обязательно для достижения высокой стабильности элементов.



Хорошая воспроизводимость и стабильность ЭДС нормальных элементов связаны с однозначностью фазового состава системы и отсутствием вторичных или побочных реакций. Амальгама кадмия — двухфазная система: смесь жидкой 4,5%-ной (при 20°C) амальгамы и твёрдой 14%-ной. При хранении элементов из-за небольшой растворимости сульфата ртути происходит диффузия ионов ртути от положительного к отрицательному электроду и контактное осаждение ртути на амальгаме; при этом изменяется соотношение кадмия и ртути, однако, меняется не состав двух амальгамных фаз, а только отношение их количеств, поэтому этот процесс очень долго (до тех пор, пока твёрдая амальгама не закончится) практически не влияет на ЭДС нормального элемента.

НЭ обладают высокой долговременной стабильностью значения ЭДС, характеризующейся отклонением не более 2 мкВ/год у НЭ класса точности 0,0002, а у лучших экземпляров — менее 1 мкВ/год, поэтому их применяют в качестве вторичных и рабочих эталонов высоких разрядов. В верхних звеньях поверочной схемы (рис. 11.1) для единицы ЭДС и постоянного напряжения — вольта — в качестве мер ЭДС на базе насыщенных НЭ используются групповые меры, состоящие из 4–10 нормальных элементов и размещенные в одном термостате. Среднее значение ЭДС групповой меры имеет еще более стабильное значение, чем у одиночного нормального элемента.

Однако НЭ обладают рядом существенных недостатков, ограничивающих их более широкое применение. К их числу относятся:

- НЭ высоких классов точности необходимо помещать в термостат с известным и стабильным значением температуры из-за высокого значения температурного коэффициента ЭДС, составляющего от 40 до 55 мкВ/°C в

- диапазоне температур от 20 до 30 °C у насыщенных НЭ и 5 мкВ/°C — у ненасыщенных;
- изоляция меры ЭДС должна иметь значение сопротивления не хуже $1,10^9$ – $1,10^{11}$ Ом из-за высокого значения внутреннего сопротивления, находящегося в диапазоне от 300 до 1000 Ом и определяющего малые значения допустимых для меры ЭДС токов нагрузки (не более $2,10^{-8}$ – $2,10^{-10}$ А в зависимости от класса точности). По этой причине меру ЭДС, как правило, используют только при дифференциальном или компенсационном методе измерений. В связи с этим меры на основе нормальных элементов называют мерами ЭДС (ток нагрузки практически равен нулю);
 - НЭ используют в стационарных условиях без частых перемещений, так как они «не любят» тряску, их нельзя переворачивать или наклонять. Поэтому до начала эксплуатации их следует выдержать в стационарных условиях длительный промежуток времени (до 10 суток);
 - НЭ содержат ртуть, поэтому их производство относится к категории вредных. Это также накладывает ряд ограничений на их использование, так, например, перевозка НЭ самолетом вызовет определенные организационные трудности.

Несмотря на перечисленные недостатки, меры ЭДС на основе нормальных элементов применяются при самых ответственных измерениях в качестве опорного источника ЭДС в измерительных мостах, в компараторах, для передачи размера единицы ЭДС элементам других поверочных схем (переменного напряжения, переменного тока и т. д.).

1.2. Меры напряжения с использованием полупроводниковых стабилитронов

Мощное развитие полупроводниковой техники в 50–60-е гг. XX в. явилось побудительной причиной использования полупроводниковых (кремниевых) стабилитронов в качестве источников опорного напряжения (ИОН).

Полупроводниковые стабилитроны вначале использовались в стабилизаторах напряжения питания, в системах регулирования, устройствах защиты от перегрузок, в ограничителях и т. д. Появление прецизионных стабилитронов малой мощности, характеризующихся в определенном диапазоне токов нагрузки более стабильным и воспроизводимым значением напряжения, дало возможность использовать их в метрологических целях.

В настоящее время трудно представить себе измерительную технику без опорных элементов в виде полупроводниковых стабилитронов. ИОН используются в цифровых приборах, компараторах, компенсаторах, калибраторах напряжения и тока. Выпускаются источники опорного напряжения (меры напряжения) и как самостоятельные средства измерений.

Работа (режим стабилизации) стабилитронов связана с протеканием определенного рабочего тока в диапазоне от I_{\min} до I_{\max} — в миллиамперовом ди-

пазоне (рис. 1.2). Источники с полупроводниковыми стабилитронами называются мерами напряжения.

Рабочая точка полупроводникового стабилитрона в нормальном режиме лежит на участке вольтамперной характеристики, соответствующем состоянию пробоя $p-n$ -перехода. В данном режиме напряжение на стабилитроне практически не зависит от изменения протекающего тока. Это напряжение называют напряжением пробоя или напряжением стабилизации.

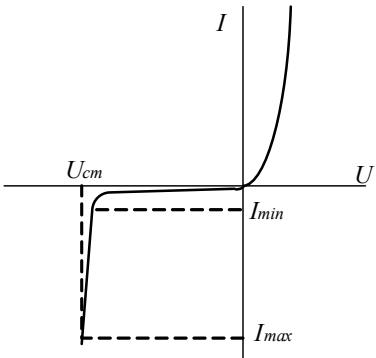


Рис. 1.2. Вольтамперная характеристика кремниевого стабилитрона

По принципу действия источники опорного напряжения подразделяются на параметрические и компенсационные. В параметрических ИОН выходное напряжение меры снимается непосредственно с регулирующего элемента — кремниевого стабилитрона. В компенсационных ИОН выходное напряжение обычно отличается от напряжения кремниевого стабилитрона (используется масштабное преобразование), но сравнивается с ним для получения требуемого значения. Компенсационные ИОН позволяют получить значения выходного напряжения меры, отличающиеся от напряжения стабилизации

стабилитрона при больших значениях допустимых рабочих токов, но параметрические ИОН имеют более простую конструкцию и высокую эксплуатационную надежность. Часто меры напряжения могут быть выполнены на основе схемы как параметрического, так и компенсационного ИОН и, следовательно, могут иметь разные значения выходных напряжений.

Принцип действия параметрического стабилизатора можно пояснить на простейшей схеме электрической цепи (рис. 1.3). Он представляет собой делитель напряжения, состоящий из балластного резистора R и кремниевого стабилитрона D , параллельно которому включается сопротивление нагрузки R_n . Данный стабилизатор обеспечивает постоянство нерегулируемого выходного напряжения меры в определенном диапазоне изменений напряжения питания U_p и тока нагрузки I_n . Рабочий режим кремниевого стабилитрона устанавливается с помощью балластного резистора R . Для снижения влияния изменений температуры окружающей среды и $p-n$ -перехода стабилитрона на выходное напряжение используется термостабилизация.

В схеме компенсационного стабилизатора напряжения используется система автоматического регулирования, где сравниваются выходное напряжение меры и напряжение стабилитрона, а также выполняется автоматическая компенсация изменений выходного напряжения.

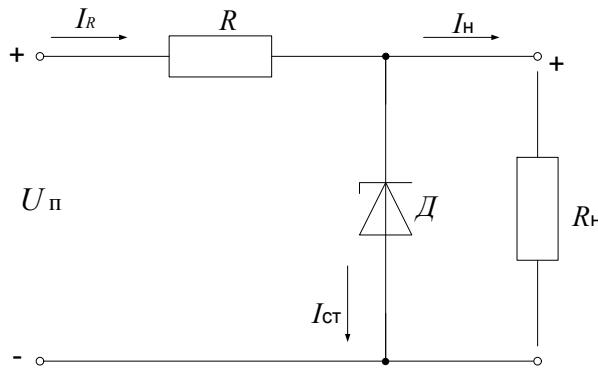


Рис. 1.3. Схема простейшего параметрического стабилизатора напряжения

По сравнению с мерами ЭДС на основе насыщенных нормальных элементов меры напряжения на кремниевых стабилитронах имеют следующие преимущества:

- лучшие нагрузочные характеристики (токи нагрузки до 1–10 мА);
- меньшее значение выходного сопротивления (0,01–20 Ом в зависимости от принципа действия ИОН);
- меньшее время готовности к измерениям (0,5–2 ч);
- значительно меньшая чувствительность к внешним механическим воздействиям.

Меры напряжения, воспроизводящие значение 1,018 В (имитирующие значение ЭДС нормального элемента), могут иметь выходное сопротивление, близкое к значению внутреннего сопротивления нормального элемента.

Однако по характеристике долговременной стабильности значения воспроизводимого напряжения меры на кремниевых стабилитронах проигрывают мерам ЭДС на основе насыщенных НЭ. Вот почему для мер напряжения на кремниевых стабилитронах установлены меньшие промежутки времени после сличения с более точным средством измерений, в течение которых их напряжение будет соответствовать указанному значению с некоторой погрешностью (кратковременная стабильность). Обычно это 10 дней, 1, 3, 6 или 12 месяцев, причем для одной и той же меры может быть установлено сразу несколько интервалов с различными значениями нестабильности выходного напряжения.

Например, мера напряжения Н4-9 (рис. 1.4) на основе компенсационного ИОН, предназначенная для передачи размера единицы напряжения на постоянном токе от вторичных эталонов к рабочим эталонам и средствам измерений на местах их эксплуатации, воспроизводит два значения напряжения: 1,018 и 10,0 В. Нестабильность выходного напряжения меры за время после сличения с более точным эталоном составляет:



Рис. 1.4. Мера напряжения Н4-9

лении 0,1 Ом: 0,0001% — за 30 суток; 0,0002% — за 90 суток; 0,0003% — за 12 месяцев.

- на выходе 1,018 В при выходном сопротивлении 1000 Ом: 0,0002% — за 30 суток; 0,0003% — за 90 суток; 0,0005% — за 12 месяцев;

- на выходе 10,0 В при выходном сопротивлении 0,1 Ом: 0,0001% — за 30 суток; 0,0002% — за 90 суток; 0,0004% — за 12 месяцев.

1.3. Калибраторы напряжения и тока

Калибраторы предназначены для воспроизведения калиброванных (нормированных, имеющих установленные границы отклонений) значений выходного сигнала (электрического напряжения и силы тока). Они применяются при поверке или калибровке средств измерений: вольтметров, амперметров, ваттметров, счетчиков электроэнергии и т. п. — методом прямых измерений, а также могут быть использованы для различного рода исследований.

В отличие от мер напряжения и ЭДС, воспроизводящих одно или несколько значений физической величины, калибраторы относят к многозначным мерам, воспроизводящим физическую величину, как правило, в широком диапазоне значений и с малой дискретностью установки заданного значения.

Принцип действия калибратора поясняется на рис. 1.5.

В основе любого калибратора напряжения или силы тока лежит мера постоянного напряжения на стабилитроне (ИОН), размер напряжения которой с помощью соответствующих измерительных преобразователей преобразуется в определенный размер другой физической величины: переменное напряжение, постоянный или переменный ток (калибраторам постоянного напряжения такое преобразование не требуется). Затем этот размер масштабно преобразуется цифроаналоговым преобразователем (ЦАП) для получения выходной величины заданного размера, усиливается по мощности (УМ) и поступает на выход калибратора.

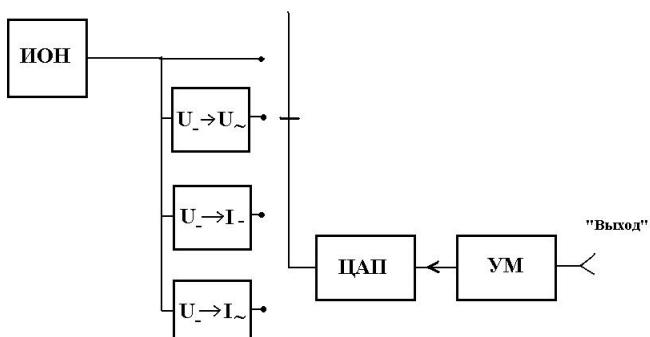


Рис. 1.5. Простейшая структурная схема калибратора напряжений и токов

К числу метрологических характеристик калибраторов относятся: диапазон воспроизводимых значений физической величины; дискретность установки; предел допускаемой погрешности установленного значения; диапазон частот, воспроизводимых переменных напряжений и токов; допустимый уровень пульсаций постоянного напряжения и тока или допустимый уровень искажений формы кривой переменного напряжения и тока; допустимая мощность нагрузки калибратора, выраженная в вольт-амперах или в ваттах, либо выходное сопротивление калибратора в омах.

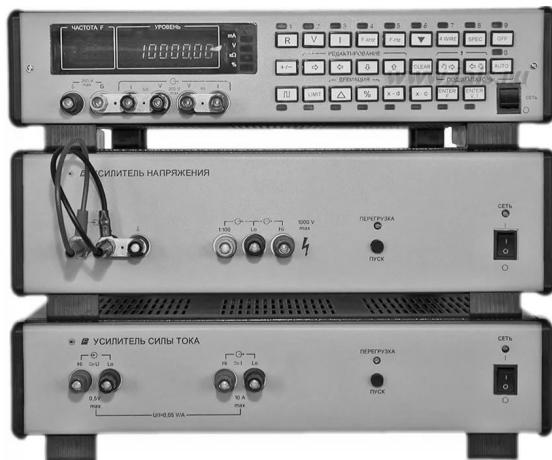


Рис. 1.6. Универсальный калибратор H4-7

Пример современного калибратора — универсальный калибратор H4-7 (рис. 1.6), предназначенный для поверки, калибровки и исследований приборов и устройств как в составе автоматизированных установок, так и автономно. Калибратор H4-7 воспроизводит:

- напряжение постоянного тока в диапазоне 0,1 мкВ — 200 В (с блоком усилителя напряжения — до 1000 В) с пределом допускаемой основной погрешности (0,001–0,002)% за 90 дней после калибровки;

- напряжение переменного тока синусоидальной формы в диапазоне 0,1 мкВ — 20 В при частотах 0,1 Гц — 1 МГц, до 100 В при частотах 0,1 Гц — 100 кГц, до 500 В при частотах 0,1 Гц — 20 кГц, до 700 В при частотах 0,1–10 кГц (диапазон 140–700 В воспроизводится с усилителем напряжения) с пределом допускаемой основной погрешности (0,005–0,25)% за 1 год и в зависимости от поддиапазона и частоты;

- постоянный ток до 2 А (с блоком усиления силы тока до 30 А) с пределом допускаемой основной погрешности (0,004–0,03)% за 1 год;

- переменный ток синусоидальной формы до 2 А при частотах 0,1 Гц — 10 кГц, в комплекте с усилителем силы тока — до 20 А при частотах 0,1–5 кГц с пределом допускаемой основной погрешности (0,03–0,5)% за 1 год и в зависимости от поддиапазона и частоты;

- сопротивление постоянному току в диапазоне 10 Ом — 10 МОм с пределом допускаемой основной погрешности (0,002–0,02)% за 1 год.

Наряду с H4-7 при поверках электромеханических амперметров и вольтметров используются калибраторы П320 и П321.

Основные технические характеристики калибраторов определяются требованиями, предъявляемыми к ним как к ЭСИ, используемым при поверке наиболее точных цифровых и аналоговых вольтметров и амперметров. К числу та-

ких характеристик для калибраторов постоянного напряжения и тока относятся: диапазоны воспроизводимых напряжений и токов; дискретность воспроизведения напряжения и тока; пределы допускаемых основных и дополнительных погрешностей; кратковременная и долговременная стабильность выходного напряжения (тока); уровень пульсаций и шумов; допустимый ток нагрузки для калибратора напряжения и допустимое выходное напряжение для калибратора тока.

Для калибраторов переменного тока кроме указанных выше характеристик нормируются: диапазоны и поддиапазоны частот, погрешности установки частоты, основная погрешность для различных поддиапазонов частот, коэффициент нелинейных искажений выходного тока или напряжения.

Существует две разновидности калибраторов: универсальные и специализированные.

Универсальные калибраторы (П320, П321) могут работать как в ручном, так и в автоматическом (программируемом) режиме. Они позволяют получить на выходе с дискретностью 10^{-5} – 10^{-6} любые значения тока или напряжения. Так, калибратор напряжения П320 (рис. 1.7) позволяет получить напряжение в диапазоне от 10^{-5} до 1000 В с погрешностью от ± 10 мкВ до ± 55 мВ.

Допустимое значение тока в нагрузке от 15 до 200 мА.

Калибратор тока П321 (рис. 1.8) выдает калиброванные токи в диапазоне от 10^{-9} до 10 А с погрешностью от $\pm 0,01$ до ± 10 мкА.

Специализированные калибраторы позволяют получать на выходе значения токов или напряжений, соответствующие числовым отметкам шкал поверяемых приборов.



Рис. 1.7. Калибратор напряжения П320



Рис. 1.8. Калибратор тока П321

Калибраторы с ручным управлением имеют устройства совмещения указателя с отметкой на шкале поверяемого прибора.

Шкала этого устройства градуируется в процентах, делениях шкалы, допускаемых абсолютных погрешностях поверяемого прибора.



Рис. 1.9. Поверочная установка У358

Важным для калибраторов параметром является допустимая нагрузка выходных цепей, при превышении которой возрастает погрешность калибратора. Калибраторы обычно оснащены системой защиты от перегрузки, отключающей выход калибратора, если нагрузка превышает допустимую. Большинство калибраторов, разработанных для поверки электронных вольтметров, по нагрузочной способности непригодны для поверки электромеханических приборов прямого действия. Из серийно выпускаемых калибраторов постоянного тока для поверки электромеханических вольтметров и амперметров могут быть использованы калибраторы П320, П321 и установка У358 (рис. 1.9) на их основе.

Кроме калибраторов напряжения и тока в практике электрических измерений используют калибраторы и других физических величин: импульсных напряжений, угла сдвига фаз и т. д.

1.4. Меры сопротивления, емкости, индуктивности

При выполнении электрических измерений существенную роль выполняют пассивные элементы измерительной цепи: резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности и индуктивно связанные катушки. Параметры этих элементов должны соответствовать заданным значениям, быть неизменными во времени и независимыми (в установленных пределах) от воздействия возмущающих факторов. В тех случаях, когда при выполнении измерений требуется использовать значение единицы физической величины с высокой точностью, резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности и индуктивно связанные катушки выполняются как меры.

Значение меры, полученное при поверке или калибровке, называется *действительным значением меры*. На мере указывается номинальное значение величины, для воспроизведения которого разрабатывалась и изготавливалась мера и которому с допустимыми отклонениями должно быть равно ее действительное значение. Существуют однозначные и многозначные меры, первые имеют одно номинальное значение, вторые — ряд таковых. Несколько однозначных или многозначных мер, не объединенных конструктивно в единое изделие, но используемых совместно для решения конкретных метрологических задач, составляют набор мер.

К мерам сопротивления, емкости и индуктивности предъявляются общие требования. Важнейшими из них являются: стабильность параметров меры во времени и высокая точность подгонки действительного значения меры к номи-

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru