

АКАДЕМИЯ СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
дополнительного профессионального образования



АКАДЕМИЯ СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ

Ю.М. Белоусов, Л.А. Романова, А.Р. Усеинов

ПОВЕРКА И КАЛИБРОВКА АМПЕРМЕТРОВ, ВОЛЬТМЕТРОВ, ВАТТМЕТРОВ И ВАРМЕТРОВ

Учебное пособие

Москва
2004

Излагается методика поверки и калибровки амперметров, вольтметров, ваттметров и варметров.

Учебное пособие предназначено для преподавателей и слушателей АСМС, соответственно преподающих и занимающихся по специализации «Поверка и калибровка средств электрических измерений».

Учебное пособие написано в соответствии с учебной программой указанной специализации и переиздается по решению кафедры «Электрические измерения» АСМС.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Основные нормативные документы (НД)
2. Общие сведения
3. Нормируемые метрологические характеристики
4. Методика поверки и калибровки амперметров, вольтметров, ваттметров и варметров

Приложения.

Список литературы

1. ОСНОВНЫЕ НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ (НД)

ГОСТ 30012.1-93. Межгосударственный стандарт (МГС). Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 1. Определения и основные требования, общие для всех частей.

ГОСТ 8476-93. МГС. Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 3. Особые требования к ваттметрам и варметрам.

ГОСТ 8711-93. МГС. Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 2. Особые требования к амперметрам и вольтметрам.

ГОСТ 8.497-83. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Амперметры, вольтметры, ваттметры, варметры. Методика поверки.

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

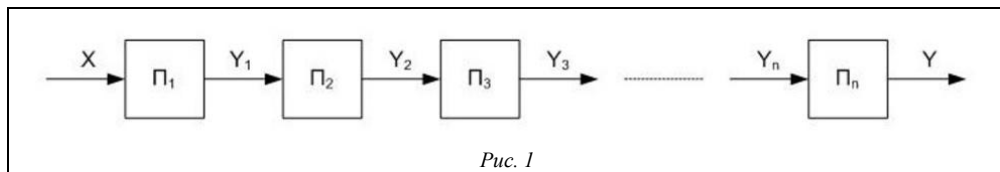
Электроизмерительные приборы разделяются на:

- приборы прямого действия;
- приборы сравнения.

Амперметры, вольтметры, ваттметры и варметры относятся к приборам прямого действия.

Прибором прямого действия называется измерительный прибор, в котором предусмотрено одно или несколько преобразований сигнала измерительной информации в одном направлении, т.е. без применения обратной связи (рис. 1).

Входной сигнал X последовательно через преобразователи $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$ преобразуется в выходной сигнал Y , удобный для наблюдения, регистрации или запоминания.



Электроизмерительные приборы прямого действия являются преобразователями электромагнитной энергии, связанной с измеряемой величиной, в работу, позволяющую осуществить отсчет значений измеряемой величины.

По способу преобразования энергии все электроизмерительные приборы прямого действия можно разделить на три группы:

1. электромеханические;
2. электротепловые;
3. электронно-лучевые.

В области электрических измерений наибольшее распространение получили электромеханические измерительные приборы.

Устройство электромеханических приборов можно представить в виде следующей структурной схемы (рис. 2):



В измерительной цепи (ИЦ) измеряемая величина X преобразуется в

промежуточную электрическую величину Y (ток или напряжение), которая непосредственно воздействует на измерительный механизм. Измерительная цепь может представлять собой простейший преобразователь, например, преобразующий напряжение U в силу тока I . Иногда в состав ИЦ электромеханических приборов могут входить более сложные преобразователи, например такие, как выпрямительные, термоэлектрические или электронные.

Группы электромеханических приборов

Таблица 1

Группы электроизмерительных приборов	Условные обозначения электроизмерительных приборов, наносимые на их шкалы (ГОСТ 30012.1-93)	Буквенный индекс заводского обозначения электроизмерительных приборов
1. Магнитоэлектрические		М
2. Электромагнитные		Э
3. Электродинамические		Д
4. Ферродинамические		Д
5. Электростатические		С
6. Индукционные		И

В измерительном механизме (ИМ) электромагнитная энергия преобразуется в механическую энергию перемещения его подвижной части, например, в поворот относительно неподвижной оси на угол α . В электромеханических приборах для перемещения его подвижной части используются электромагнитные или электростатические процессы. В зависимости от того, какое физическое явление используется для

преобразования подведенной электромагнитной энергии в механическую энергию перемещения подвижной части, электромеханические приборы делятся на шесть групп, перечисленных в табл. 1.

Отсчетное устройство (ОУ) в электромеханических приборах прямого действия состоит из указателя и шкалы. Оно преобразует угловое перемещение α подвижной части ИМ в перемещение указателя ОУ, которое выражается в делениях или миллиметрах шкалы.

Согласно ГОСТ 30012.1-93 показывающий прибор прямого действия — это прибор, в котором отсчетное устройство механически соединено с измерительным механизмом и непосредственно приводится им в действие.

Технические, щитовые приборы имеют обычную (незеркальную) шкалу и в качестве указателя копьевидную или клиновидную стрелку (рис. 3).

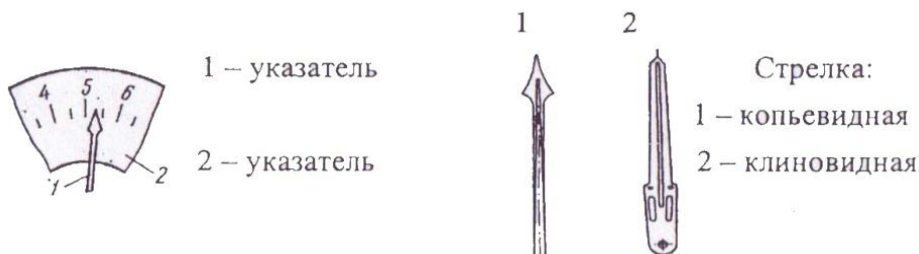


Рис. 3

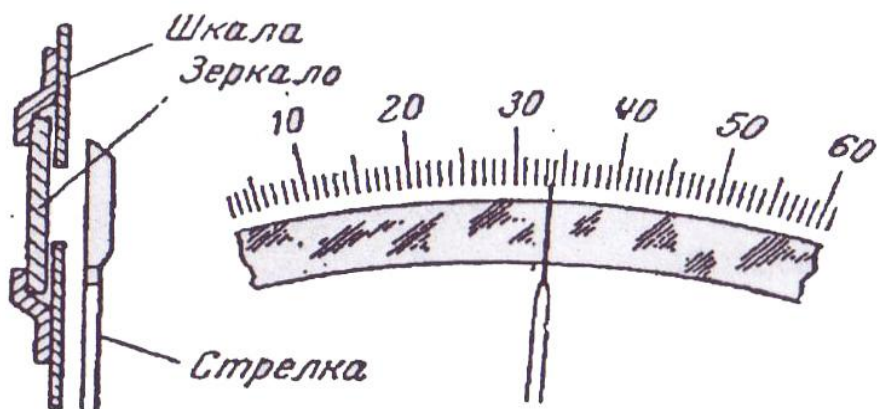


Рис. 4

Переносные приборы класса точности 0,5 и более точные для устранения погрешности от параллакса снабжаются ножевидной стрелкой и зеркальной шкалой (рис. 4).

В приборах повышенной чувствительности находят применение оптические отсчетные приспособления, в которых создается проекционное изображение отсчетного индекса на шкале или экране прибора (рис. 5).

По ГОСТ 30012.1-93 шкала — это совокупность отметок и чисел, по которым, используя указатель, определяют значение измеряемой величины.

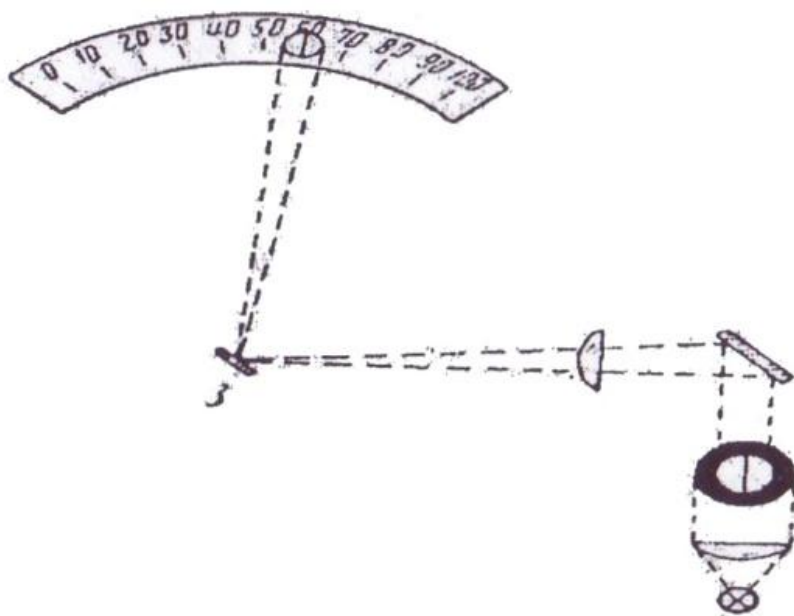


Рис. 5

Классификация шкалы:

1. По форме:
 - прямолинейные
 - дуговые
 - круговые (при дуге больше 180°)
2. По характеру расположения отметок:
 - равномерные
 - неравномерные (отношение наибольшего деления к наименьшему более 1,3)
3. По месту расположения нуля:

- односторонние
- двусторонние
- безнулевые

Отметки шкалы — это метки, нанесенные на циферблат с целью разделения его на определенные интервалы так, чтобы можно было определить положение указателя.

Числа отсчета — это совокупность чисел, связанных с отметками шкалы.

Деление шкалы — это расстояние между двумя последовательными отметками шкалы. Согласно ГОСТ 30012.1-93, п. 7.2.1 интервалы I между соседними отметками шкалы должны выбираться из ряда, установленного на основании зависимости

$$I = d \cdot 10^m [Q], \quad (1)$$

где d — одно из чисел 1; 2; 5;

m — одно из чисел -2; -1; 0; 1; 2;

$[Q]$ — единица измеряемой величины, например, для амперметров - мА; А; кА и т.п.

Таким образом, для амперметра, единицей измеряемой величины которого является ампер (А), могут быть установлены следующие интервалы между соседними отметками его шкалы:

при $m = -2$ $I = 0,01; 0,02; 0,05$ А;

при $m = -1$ $I = 0,1; 0,2; 0,5$ А ;

при $m = 0$ $I = 1; 2; 5$ А;

при $m = 1$ $I = 10; 20; 50$ А;

при $m = 2$ $I = 100; 200; 500$ А.

Согласно ГОСТ 30012.1-93 диапазон измерений прибора должен быть четко обозначен на его шкале.

Если прибор имеет только одну шкалу, то диапазон обозначается с помощью небольшой точки (рис. 6).

Если прибор имеет более одной шкалы, то диапазоны обозначаются либо с помощью небольших точек, либо утолщением дуг шкал (рис. 7).

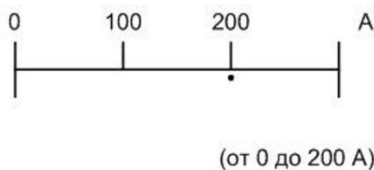


Рис.6

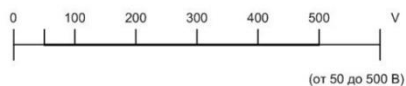


Рис. 7

Если значение делений шкалы или характер отметок шкалы позволяют однозначно обозначить диапазон измерений прибора, то его можно не маркировать.

Различные ИЦ позволяют использовать один и тот же ИМ для измерения разнородных величин, например напряжения, тока, сопротивления, изменяющихся в широких пределах. В этом случае в состав ИЦ электромеханических приборов могут входить более сложные преобразователи, например такие, как выпрямительные, термоэлектрические или электронные. Как правило, такие преобразователи используются совместно с магнитоэлектрическими приборами.

Магнитоэлектрические приборы имеют высокую чувствительность, высокую точность и малое потребление мощности. Однако эти приборы непригодны для измерения в цепях переменного тока. Для расширения области применения этих приборов в их измерительную цепь включают преобразователи переменного тока в постоянный. В зависимости от типа применяемого преобразователя различают приборы выпрямительной, термоэлектрической и электронной систем.

Уравнение преобразования измерительного механизма

Под действием тока или напряжения в ИМ возникает вращающий момент и его подвижная часть начинает поворачиваться. Чтобы она остановилась, на нее должен воздействовать еще один момент, противодействующий вращающему. Условием равновесия подвижной части ИМ является равенство вращающего $M_{вр}$ и противодействующего $M_{пр}$ моментов:

$$M_{вр} = M_{пр} \quad (2)$$

В измерительных механизмах противодействующий момент создается одним из двух способов: электрическим; механическим.

При электрическом способе противодействующий момент создается так же, как и вращающий, за счет взаимодействия магнитного поля с током, протекающим в рамке, укрепленной на оси. Если на той же оси укрепить вторую рамку и пропустить через нее другой ток, то возникнет второй вращающий момент. Если второй вращающий момент будет направлен противоположно первому, то он и будет являться противодействующим. Такие измерительные механизмы называются логометрическими. В амперметрах, вольтметрах, ваттметрах и варметрах логометрические ИМ не используются.

При механическом способе противодействующий момент создается с помощью спиральных пружин, растяжек или подвесов. Общим для них свойством является пропорциональная зависимость противодействующего

момента M_{np} от угла поворота α подвижной части ИМ:

$$M_{np} = W\alpha \quad (3)$$

где W — коэффициент пропорциональности, называемый удельным противодействующим моментом.

Решив совместно уравнения (2) и (3), получим уравнение преобразования измерительного механизма:

$$\alpha = M_{\text{вп}} / W \quad (4)$$

Вариация показаний приборов прямого действия

При составлении уравнения равновесия (2) подвижной части ИМ не был учтен момент трения $M_{\text{тр}}$, с учетом которого уравнение примет вид:

$$M_{\text{вп}} = M_{np} + M_{\text{тр}} \quad (5)$$

В уравнении (5) знак момента трения может изменяться в зависимости от направления движения подвижной части ИМ. Графическое представление уравнения равновесия (5) приведено на рис. 8. Так как угол поворота α подвижной части ИМ и показание прибора Y связаны однозначной зависимостью, то на рис. 8 по оси абсцисс можно откладывать не угол поворота, а непосредственно показание прибора.

По оси ординат отложены три момента $M_{\text{вп}}$, M_{np} и $M_{\text{тр}}$. Точки пересечения графика вращающего момента $M_{\text{вп}}$ с графиком противодействующего момента M_{np} и результирующими графиками противодействующего момента и момента трения ($M_{np} + M_{\text{тр}}$) и ($M_{np} - M_{\text{тр}}$) означают выполнение условия равновесия для подвижной части ИМ. Проекция этих точек пересечения на ось абсцисс соответствуют показаниям прибора Y_0 , Y_1 и Y_2 . Точка Y_0 соответствует отметке шкалы, на которой остановится указатель прибора при отсутствии трения. При наличии трения указатель остановится на отметке Y_1 если он движется в сторону возрастающих показаний, и на отметке Y_2 , если указатель движется в сторону убывающих показаний. Следовательно, при наличии трения показание прибора содержит погрешность, равную соответственно Δ_1 и Δ_2 . Однако определить каждую из этих погрешностей невозможно, так как неизвестно показание Y_0 . Поэтому экспериментально определяют сумму модулей этих погрешностей, называемую вариацией показаний

$$b = |\Delta_1| + |\Delta_2| \quad (6)$$

Как следует из рис. 8, вариация показаний может быть также определена на основании равенства:

$$b = |Y_1| + |Y_2| \quad (7)$$

Вариация показаний соответствует длине отрезка шкалы прибора между отметками Y_1 и Y_2 . Формула (7) используется для экспериментального определения вариации показаний.

Значение вариации показаний носит случайный характер, так как случайна причина, вызывающая ее. Поэтому при экспериментальном определении вариации показаний из нескольких результатов выбирают наибольший.

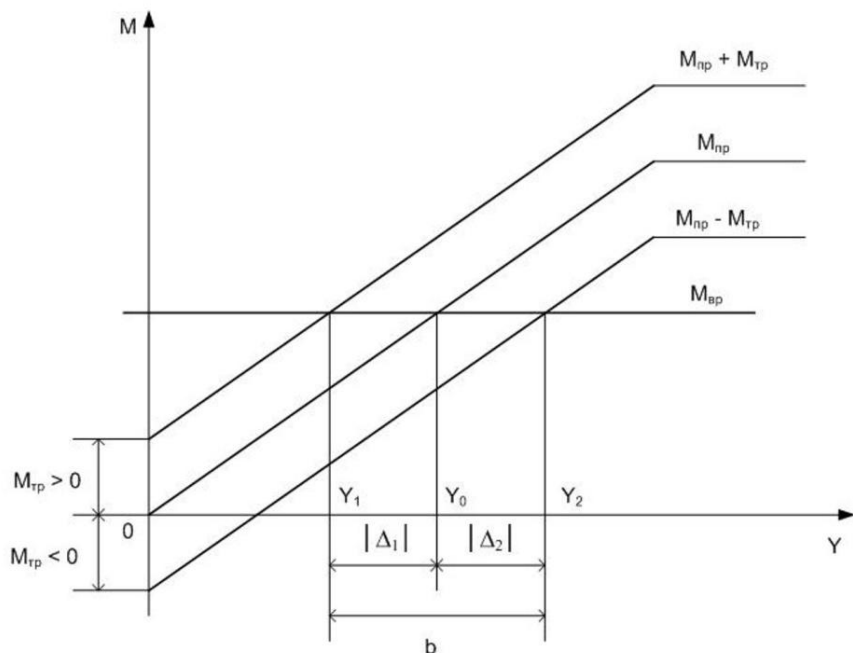


Рис. 8

Характеристика преобразования, чувствительность, цена деления

Характеристика преобразования прибора — это функциональная зависимость между показанием прибора Y и значением входной измеряемой величины X . Характеристика преобразования прибора может быть задана в различной форме:

- аналитической;
- графической;
- табличной.

На рис. 9 представлены три характеристики преобразования прибора, заданные в графической форме.

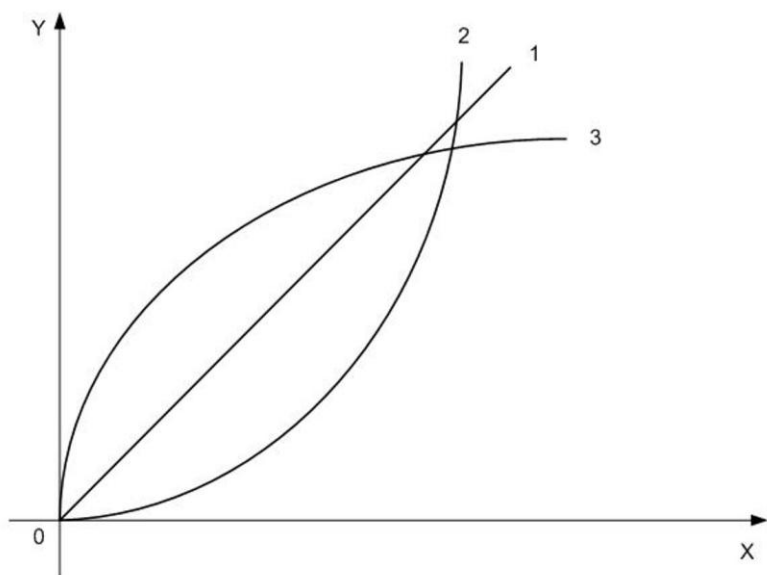


Рис. 9

Как видно из рисунка, характеристика 1 линейная, а характеристики 2 и 3 нелинейные. Приборы с линейной характеристикой имеют равномерную шкалу, а с нелинейной — неравномерную. Вид характеристики преобразования зависит от принципа действия прибора. Характеристика преобразования, которую должен иметь прибор при нормальных значениях влияющих величин, называется номинальной и устанавливается в нормативной документации на данный тип прибора.

Важной характеристикой приборов является **чувствительность**, которая представляет собой отношение приращения выходной величины ΔY к

вызвавшему его приращению входной величины ΔX . В общем случае чувствительность S определяется на основании зависимости

$$S = \lim_{\Delta X \rightarrow 0} \Delta Y / \Delta X = dY / dX \quad (8)$$

Если характеристика преобразования линейная, то чувствительность прибора одинаковая во всех точках шкалы. Если же характеристика преобразования нелинейная, то чувствительность прибора зависит от значения входной величины X . У приборов с характеристикой преобразования, представленной кривой 2, чувствительность в начале шкалы мала и возрастает к концу шкалы. У таких приборов шкала сжата в начале и растянута в конце. Обратная картина наблюдается у приборов с характеристикой преобразования, представленной кривой 3. У них шкала растянута в начале и сжата в конце, т.е. чувствительность таких приборов в начале шкалы выше и уменьшается к концу шкалы.

Величина, обратная чувствительности, называется **постоянной** C прибора и определяется на основании зависимости

$$C = 1/S = \lim_{\Delta Y \rightarrow 0} \Delta X / \Delta Y = dX / dY \quad (9)$$

Постоянная прибора, так же как и чувствительность, является его точечной характеристикой. Значение постоянной прибора C может быть разным в различных точках шкалы. У приборов с линейной характеристикой преобразования, представленной прямой линией 1, постоянная C во всех точках шкалы имеет одно и то же значение. У приборов с нелинейной характеристикой преобразования постоянная C в различных точках шкалы имеет разное значение.

Цена деления шкалы — это величина, равная разности значений измеряемой величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы. Цена деления шкалы по своей размерности совпадает с постоянной прибора. Различие этих двух характеристик в том, что постоянная прибора — это точечная (дифференциальная) характеристика, а цена деления является интегральной характеристикой на участке шкалы прибора между двумя соседними отметками. У приборов с линейной характеристикой преобразования значения постоянной прибора и цена деления полностью совпадают по всей шкале, а у приборов с нелинейной характеристикой преобразования — не совпадают.

Принцип действия и свойства электромеханических приборов прямого действия

Принцип действия рассматриваемых приборов определяется способом создания вращающего момента в их измерительном механизме.

Приборы с магнитоэлектрическим измерительным механизмом

У приборов с магнитоэлектрическим измерительным механизмом вращающий момент создается за счет взаимодействия магнитного поля постоянного магнита с током катушки (рамки), помещенной в это поле. Вращающий момент $M_{вр}$ определяется зависимостью

$$M_{вр} = BswI \quad (10)$$

где B — индукция магнитного поля;
 s и w — площадь и число витков рамки;
 I — сила тока в рамке.

Уравнение преобразования у таких измерительных механизмов имеет следующий вид:

$$\alpha = (Bsw/W) \cdot I \quad (11)$$

где W — удельный противодействующий момент.

Чувствительность по току магнитоэлектрических ИМ в соответствии с формулой (8) определяется зависимостью

$$S_I = Bsw / W \quad (12)$$

Все величины, входящие в формулу (12), постоянные, не зависящие от измеряемой величины, и, следовательно, чувствительность магнитоэлектрических ИМ также величина постоянная: $S_I = const$.

Характер шкалы приборов с магнитоэлектрическими ИМ равномерный, что объясняется линейной зависимостью (11) показаний прибора от измеряемой величины.

Точность приборов с магнитоэлектрическими ИМ достаточно высокая, что обеспечивается незначительным влиянием внешних магнитных полей и высокой стабильностью элементов ИМ. Чувствительность приборов с магнитоэлектрическими ИМ также высокая, что объясняется сильным собственным магнитным полем, обеспечиваемым высоким качеством сплавов для постоянного магнита и малыми объемами рабочего воздушного зазора.

Амперметры и вольтметры с магнитоэлектрическими ИМ измеряют лишь постоянный ток I и постоянное напряжение U . Это объясняется тем, что сила тока в уравнение преобразования (11) магнитоэлектрического ИМ входит в первой степени.

Как следует из рассмотренных свойств приборов с магнитоэлектрическим ИМ, они отличаются высокой чувствительностью и точностью, однако использовать их для измерений можно лишь в цепях постоянного тока. Чтобы использовать магнитоэлектрический ИМ для измерений в цепях переменного тока, предварительно преобразуют переменный ток в постоянный с помощью различных преобразователей. В зависимости от применяемых преобразователей различают приборы:

выпрямительные;
термоэлектрические.

Выпрямительные приборы с магнитоэлектрическим ИМ

Выпрямительные приборы представляют собой соединение магнитоэлектрического ИМ с полупроводниковым выпрямителем чаще всего с двухполупериодной схемой выпрямления (рис. 10).

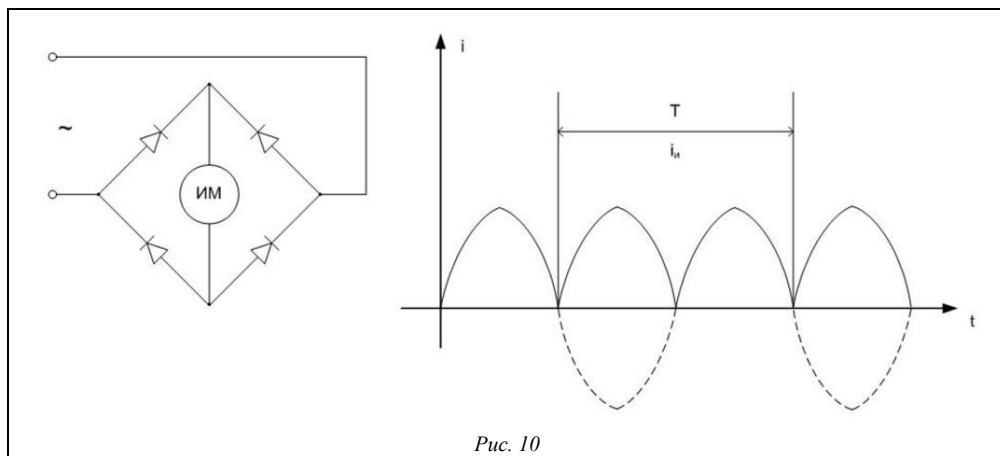


Рис. 10

На рис. 10 обозначены: T — период переменного тока, i — мгновенное значение переменного тока на входе прибора, i_u — мгновенное значение выпрямленного тока в рамке магнитоэлектрического ИМ. Вращающий момент $M_{вр}$ в этом ИМ будет переменным во времени, так как переменным во времени является ток в рамке.

Подвижная часть ИМ, обладая значительной инерцией, реагирует на среднее за период значение вращающего момента и соответственно на среднее за период значение тока в рамке. Последнее равно среднему

значению выпрямленного по двухполупериодной схеме входного тока I_{cp} . С учетом изложенного вращающий момент $M_{вр}$ магнитоэлектрического ИМ выпрямительного прибора может быть представлен в виде зависимости

$$M_{вр} = BswI_{cp} \quad (13)$$

В свою очередь уравнение преобразования магнитоэлектрического ИМ для выпрямительного прибора будет определяться зависимостью

$$\alpha = (Bsw / W) \cdot I_{cp} \quad (14)$$

где W — удельный противодействующий момент.

Чувствительность по току магнитоэлектрического ИМ для выпрямительного прибора может быть представлена в виде формулы

$$S_I = Bsw / W \quad (15)$$

Как следует из формулы (15), в которую входят все постоянные величины, чувствительность выпрямительных приборов с магнитоэлектрическим ИМ также величина постоянная: $S_I = const$.

Характер шкалы выпрямительных приборов с магнитоэлектрическим ИМ равномерный, что объясняется линейной зависимостью (14) показаний прибора от измеряемой величины.

Выпрямительные приборы имеют меньшую точность и чувствительность по сравнению с самим магнитоэлектрическим ИМ. Это объясняется свойствами полупроводникового выпрямителя. Одно из них — зависимость вольтамперной характеристики (ВАХ) выпрямителя от температуры, другое — наличие паразитной емкости у выпрямителя. Первое свойство приводит к изменению параметров выпрямителя с изменением температуры. Второе свойство приводит к ухудшению ВАХ реального выпрямителя по сравнению с идеальным. Оба эти свойства полупроводникового выпрямителя в конечном итоге ухудшают такие метрологические характеристики выпрямительных приборов, как точность и чувствительность.

Выпрямительные приборы измеряют среднее значение выпрямленного тока и напряжения. Если шкала выпрямительного прибора градуирована в средних значениях измеряемой величины, показания такого прибора не зависят от формы измеряемого тока или напряжения. Однако следует иметь в виду, что большинство выпрямительных приборов выпускают со шкалой, градуированной в действующих значениях измеряемой величины. Это легко осуществляется, так как действующее значение переменного тока и его среднее выпрямленное значение связаны простым линейным соотношением

$$I = k_{\phi} I_{cp} \quad (16)$$

где k_{ϕ} — коэффициент формы, зависящий от формы переменного тока и схемы его выпрямления.

Значение k_{ϕ} приводится во многих математических, электро- и радиотехнических справочниках. Например, при двухполупериодной схеме выпрямления:

$k_{\phi} = 1,11$ — для синусоидального тока;

$k_{\phi} = 1,0$ — для тока прямоугольной формы.

Все отечественные выпрямительные амперметры и вольтметры, как правило, выпускаются со шкалой, градуированной в действующих значениях измеряемой величины для синусоидальной формы тока, т.е. с учетом коэффициента формы $k_{\phi}=1,11$. При этом следует иметь в виду, что при градуировке шкалы прибора в действующих значениях измеряемой величины его показания будут отягощены значительной погрешностью от формы измеряемого тока, если она отличается от синусоидальной. Например, при измерении силы тока прямоугольной формы таким выпрямительным прибором погрешность от формы измеряемого тока составит 11%. Исключить эту погрешность можно, вычислив действующее значение измеряемого тока по формуле

$$I = (k_{\phi} / 1,11) \cdot I_{\sim} \quad (17)$$

где $I_{\sim}$ — показание выпрямительного прибора, градуированного в действующих значениях измеряемой величины;

k_{ϕ} — коэффициент формы измеряемого тока.

Частотный диапазон выпрямительных приборов ограничивается рабочими частотами полупроводникового выпрямителя, использованного в приборе и, как правило, не превышает 300 кГц.

Термоэлектрические приборы с магнитоэлектрическим ИМ

Термоэлектрические приборы представляют собой соединение магнитоэлектрического измерительного механизма с термоэлектрическим преобразователем (рис. 11).

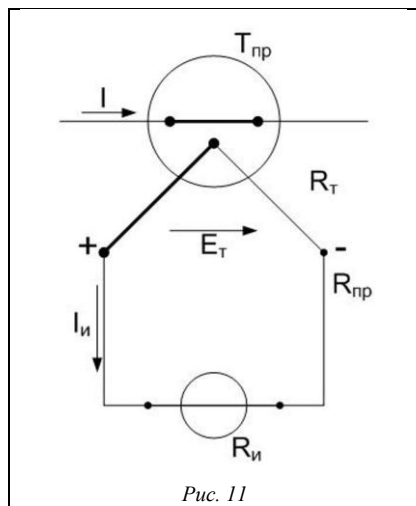
Переменный ток, действующее значение которого I , пропускается через нагреватель термопреобразователя T_{np} . Через магнитоэлектрический измерительный механизм ИМ протекает постоянный ток I_u , который прямо пропорционален термоэдс E_t , возникающей между холодными концами термопары, и обратно пропорционален сумме сопротивлений термопары

R_T , соединительных проводов R_{np} и измерительного механизма R_u . В свою очередь термоэдс прямо пропорциональна тепловой мощности, выделяемой в нагревателе, которая определяется квадратом действующего значения переменного тока I , протекающего через нагреватель термопары.

С учетом изложенного ток измерительного механизма I_u оказывается равным:

$$\begin{aligned} I_u &= E_T / (R_T + R_{np} + R_u) = \\ &= k_T \cdot I / (R_T + R_{np} + R_u). \end{aligned}$$

Таким образом, вращающий момент M_{ep} магнитоэлектрического ИМ термоэлектри-



ческого прибора может быть представлен в виде зависимости

$$M_{ep} = (Bswk_T I^2) / (R_T + R_{np} + R_u), \quad (18)$$

где k_T — коэффициент термопреобразования, учитывающий тип и конструкцию термопреобразователя.

Очевидно, что в термоэлектрических приборах должны использоваться калиброванные провода и тот тип термопреобразователя, который соответствует градуировке шкалы прибора.

С учетом формулы (18) уравнение преобразования магнитоэлектрического ИМ для термоэлектрического прибора будет определяться зависимостью

$$\alpha = (Bswk_T I^2) / W(R_T + R_{np} + R_u), \quad (19)$$

где W — удельный противодействующий момент.

Чувствительность по току магнитоэлектрического ИМ для термоэлектрического прибора может быть представлена в виде формулы

$$S_I = (2Bswk_T I) / W(R_T + R_{np} + R_u). \quad (20)$$

Как следует из формулы (20), чувствительность термоэлектрических приборов с магнитоэлектрическим ИМ зависит от измеряемой величины и поэтому является величиной непостоянной: $S_I \neq const$.

Характер шкалы термоэлектрических приборов с магнитоэлектрическим ИМ неравномерный, степенной, что объясняется нелинейной, степенной зависимостью (19) показаний прибора от измеряемой величины.

Низкая точность термоэлектрических приборов в значительной степени объясняется большими потерями тепловой энергии в термопреобразователе. Низкая чувствительность этих приборов обусловлена очень малым значением термоЭДС (несколько десятков милливольт на 1000 °С). Для повышения чувствительности термоэлектрических приборов выбирается почти предельный нагрузочный режим термопреобразователя. Этим объясняется тот факт, что у термоэлектрических приборов низкая перегрузочная способность, даже 10%-я перегрузка может вывести термопреобразователь из строя.

Термоэлектрические приборы измеряют действующее значение тока или напряжения, так как измеряемая величина в уравнение преобразования (19) входит во второй степени.

Частотный диапазон термоэлектрических приборов достаточно широк и ограничивается поверхностным эффектом и эффектом близости в термопреобразователе. Верхняя граница частотного диапазона термоэлектрических приборов определяется значением около 10 МГц.

Показания термоэлектрических приборов практически не зависят от формы измеряемой величины, так как входное сопротивление у них остается практически одинаковым даже для гармоник очень высоких частот.

Приборы с электромагнитным измерительным механизмом

У приборов с электромагнитным ИМ вращающий момент создается за счет взаимодействия ферромагнитного сердечника с магнитным полем неподвижной катушки (рамки), по которой протекает измеряемый ток. Вращающий момент $M_{вр}$ определяется зависимостью

$$M_{вр} = (I^2 / 2) dL / d\alpha, \quad (21)$$

где I — значение силы тока в неподвижной катушке;

L — значение индуктивности катушки;

$dL/d\alpha$ — производная от индуктивности по углу поворота подвижной части ИМ.

Уравнение преобразования у таких измерительных механизмов имеет следующий вид:

$$\alpha = (I^2 / 2W) dL / d\alpha. \quad (22)$$

Чувствительность по току электромагнитных ИМ в соответствии с формулой (8) определяется зависимостью

$$SI = (I / W) dL / d\alpha. \quad (23)$$

Как следует из формулы (23), чувствительность электромагнитных ИМ зависит от измеряемой величины и от перемещения их подвижной части и поэтому является величиной непостоянной: $S_I \neq const$.

Характер шкалы приборов с электромагнитным ИМ неравномерный, степенной, что объясняется нелинейной, степенной зависимостью (22) показаний прибора от измеряемой величины.

Точность и чувствительность приборов с электромагнитным ИМ средняя.

Амперметры и вольтметры с электромагнитным ИМ работают как на постоянном, так и на переменном токе. Это объясняется тем, что сила тока в уравнение преобразования (22) электромагнитного ИМ входит во второй степени. На переменном токе показания приборов с электромагнитным ИМ соответствуют действующим значениям измеряемых величин. Это следует из того, что из-за инерции подвижной части ИМ реагирует на среднее за период значение вращающего момента. Однако мгновенное значение вращающего момента зависит от мгновенного значения тока или напряжения в квадрате. Следовательно, показание прибора с электромагнитным ИМ будет зависеть от среднего за период значения силы тока или напряжения в квадрате. В электротехнике среднее квадратическое за период значение тока или напряжения называют действующим значением.

Частотный диапазон приборов с электромагнитным ИМ ограничен частотами до 2-3 кГц. Это объясняется наличием индуктивного входного сопротивления и ферромагнитного сердечника в ИМ.

Зависимость показаний приборов с электромагнитным ИМ от формы измеряемого напряжения или тока слабая, так как входная индуктивность у этих ИМ небольшая.

Приборы с электродинамическим измерительным механизмом

У приборов с электродинамическим измерительным механизмом вращающий момент создается за счет взаимодействия магнитных полей двух обтекаемых токами катушек, одна из которых подвижная, а другая неподвижная.

Вращающий момент $M_{вр}$ определяется зависимостью

$$M_{вр} = I_n I_n \cos\psi \, dM / d\alpha, \quad (24)$$

где I_n и I_n — значение силы тока в неподвижной и подвижной катушках;
 ψ — фазовый сдвиг токов в неподвижной и подвижной катушках;
 M — коэффициент взаимной индуктивности между катушками;
 $dM / d\alpha$ — производная от взаимной индуктивности по углу поворота подвижной катушки относительно неподвижной.

Особенностью конструкции электродинамических измерительных механизмов является полное отсутствие в них ферромагнитных сердечников или деталей.

Уравнение преобразования у таких измерительных механизмов имеет следующий вид:

$$\alpha = (I^2 / W) dM / d\alpha. \quad (25)$$

Формула (25) требует пояснения. Дело в том, что у вольтметров с электродинамическим ИМ подвижная и неподвижная катушки соединяются последовательно друг с другом, а у амперметров — или последовательно, или параллельно. При последовательном соединении очевидно, что $I_n = I_n = I$ и $\psi = 0$. При параллельном соединении ток в каждой из катушек пропорционален общему току, а их произведение пропорционально квадрату значения общего тока. Условие $\psi = 0$ достигается подбором параметров катушек.

Чувствительность по току электродинамических ИМ в соответствии с формулой (8) определяется зависимостью

$$S_I = (2I / W) dM / d\alpha. \quad (26)$$

Как следует из формулы (26), чувствительность электродинамических ИМ зависит от измеряемой величины и от перемещения их подвижной части и поэтому является величиной непостоянной: $S_I \neq const$.

Характер шкалы приборов с электродинамическим ИМ неравномерный, степенной, что объясняется нелинейной, степенной зависимостью (25) показаний прибора от измеряемой величины.

Точность приборов с электродинамическим ИМ высокая, тогда как чувствительность низкая. Этим объясняется тот факт, что они чаще используются как образцовые приборы и не используются как рабочие.

Высокая точность электродинамических амперметров и вольтметров обусловлена отсутствием ферромагнитных элементов в ИМ, которые в измерительном приборе являются источниками различных погрешностей.

Отсутствием ферромагнитных элементов объясняется также и низкая чувствительность приборов с электродинамическим ИМ, так как магнитное поле катушек без сердечников и их взаимодействие оказываются очень слабыми. Высокая точность электродинамических приборов обеспечивает их малую инструментальную погрешность измерения, тогда как низкая чувствительность является причиной большой методической составляющей погрешности измерения. Это связано с тем,

что от чувствительности прибора зависит мощность сигнала измерительной информации, отбираемая ИМ из цепи измерения.

Амперметры и вольтметры с электродинамическим ИМ работают как на постоянном, так и на переменном токе. Это объясняется тем, что сила тока в уравнение преобразования (17) электродинамического ИМ входит во второй степени. На переменном токе показания приборов с электродинамическим ИМ, так же как и приборов с электромагнитным ИМ, соответствуют действующим значениям измеряемых величин.

Частотный диапазон приборов с электродинамическим ИМ ограничен частотами до 5 кГц. Это объясняется наличием индуктивного входного сопротивления. Отсутствие ферромагнитных деталей в измерительном механизме является причиной более высокой частотной границы электродинамических ИМ по сравнению с электромагнитными ИМ.

Зависимость показаний приборов с электродинамическим ИМ от формы измеряемого напряжения или тока слабая, так как входная индуктивность у этих ИМ небольшая.

Приборы с ферродинамическим измерительным механизмом

Ферродинамический ИМ отличается от электродинамического лишь тем, что у первого и подвижная и неподвижная катушки имеют ферромагнитные сердечники. Вращающий момент ферродинамического ИМ, так же как и у электродинамического ИМ, создается за счет взаимодействия магнитных полей подвижной и неподвижной катушек, усиленных ферромагнитными сердечниками. Именно поэтому зависимость, определяющая вращающий момент $M_{\text{вр}}$ ферродинамического ИМ, та же, что и у электродинамического ИМ (см. формулу (24)). Уравнение преобразования ферродинамического ИМ и формула для определения его чувствительности по той же причине аналогичны тем, которые были приведены для электродинамического ИМ: (25) и (26).

Характер шкалы приборов с ферродинамическим ИМ, так же как и у приборов с электродинамическим ИМ, неравномерный, степенной, что также объясняется нелинейной, степенной зависимостью (25) показаний прибора от измеряемой величины.

Приборы с ферродинамическим ИМ содержат большой объем ферромагнитного материала в сердечниках и магнитопроводах. Поэтому они обладают низкой точностью, высокой чувствительностью и значительным вращающим моментом. Перечисленные свойства приборов с ферродинамическим ИМ позволяют использовать их в качестве рабочих в тяжелых условиях эксплуатации (движение, тряска, вибрация, пыль и т.п.).

Амперметры и вольтметры с ферродинамическим ИМ, так же как и с электродинамическим ИМ, работают как на постоянном, так и на переменном токе. Это объясняется тем, что сила тока в уравнение преобразования (25) ферродинамического ИМ входит во второй степени. На

переменном токе показания приборов с ферродинамическим ИМ, так же как и приборов с электродинамическим ИМ, соответствуют действующим значениям измеряемых величин.

Частотный диапазон приборов с ферродинамическим ИМ значительно уже частотного диапазона приборов с электродинамическим ИМ и ограничен частотами до 1,5 кГц, но наиболее широко такие приборы используют для измерений тока и напряжения промышленной частоты 50, 400 Гц. Это объясняется наличием большого объема ферромагнитного материала в сердечниках и магнитопроводах приборов с ферродинамическим ИМ.

Зависимость показаний приборов с ферродинамическим ИМ от формы измеряемого напряжения или тока значительная, так как входная индуктивность у этих ИМ большая из-за большого объема ферромагнитных сердечников в катушках ИМ.

Приборы с электростатическим измерительным механизмом

У приборов с электростатическим ИМ вращающий момент создается за счет кулоновского взаимодействия электрически заряженных пластин, одна из которых подвижная, а другая неподвижная. Вращающий момент $M_{вр}$ определяется зависимостью

$$M_{вр} = (U^2 / 2) dC / d\alpha, \quad (27)$$

где U — напряжение между пластинами;

C — электрическая емкость, зависящая от размеров и формы пластин, расстояния между ними;

$dC / d\alpha$ — производная от емкости по углу поворота подвижной части ИМ, так как при этом изменяется либо площадь взаимодействия пластин, либо расстояние между ними.

Уравнение преобразования у таких ИМ имеет следующий вид:

$$\alpha = (U^2 / 2W) dC / d\alpha. \quad (28)$$

Чувствительность по напряжению электростатических ИМ S_U в соответствии с формулой (8) определяется зависимостью

$$S_U = (U / W) dC / d\alpha. \quad (29)$$

Как следует из формулы (29), чувствительность электростатических ИМ зависит от измеряемой величины и от перемещения их подвижной части и поэтому является величиной непостоянной: $S_I \neq const$.

Характер шкалы приборов с электростатическим ИМ неравномерный,

степенной, что объясняется нелинейной, степенной зависимостью (28) показаний прибора от измеряемой величины.

Чувствительность вольтметров и амперметров с электростатическим ИМ низкая, что объясняется слабыми кулоновскими силами, создающими вращающий момент.

Однако за счет минимального потребления энергии и почти полного отсутствия влияния на показания приборов температуры, внешних магнитных полей и частоты измеряемого напряжения точность приборов с электростатическим ИМ может быть достаточно высокой.

Амперметры и вольтметры с электростатическим ИМ работают как на постоянном, так и на переменном токе. Это объясняется тем, что сила тока в уравнение преобразования (28) электростатического ИМ входит во второй степени. На переменном токе показания приборов с электростатическим ИМ соответствуют действующим значениям измеряемых величин.

Частотный диапазон приборов с электростатическим ИМ достаточно широк и ограничен частотами до 20 МГц. Это объясняется малой емкостью входного сопротивления измерительного механизма.

Зависимость показаний приборов с электростатическим ИМ от формы измеряемого напряжения или тока очень слабая, так как входное сопротивление у этих ИМ остается практически одинаковым даже для гармоник очень высоких частот.

Для наглядности сравнительная оценка электромеханических измерительных приборов с различными измерительными механизмами сведена в табл. 2.

Условные обозначения в табл. 2 приняты те же, что и в тексте, за исключением следующих:

I_- ; U_- — значения постоянных силы тока и напряжения;

$I_{\sim}$; $U_{\sim}$ — действующие значения переменных силы тока и напряжения;

$A = Bswkm$;

$R_{\Sigma} = (R_m + R_{np} + R_u)$.

Величины, входящие в формулы для расчета A и R_{Σ} пояснены в тексте.

Особенности построения амперметров и вольтметров

Между амперметрами и вольтметрами нет принципиальной разницы. Любой из рассмотренных ИМ может быть использован для построения как амперметра, так и вольтметра. Показания этих приборов связаны по закону Ома через входное сопротивление ИМ. Поэтому изложенное выше относится в равной мере как к измерению силы тока амперметром, так и к измерению напряжения вольтметром.

Расширение диапазона измерений амперметров и вольтметров осуществля-

Сравнительная оценка электромеханических измерительных приборов с различными измерительными механизмами

Таблица 2

Принцип действия ИМ	Магнито-электрический	Выпрямительный	Термо-электрический	Электро-магнитный	Электро-динамический	Ферро-динамический	Электро-статический
Обозначение							
Измеряемое значение	$I\text{—}; U\text{—}$	$I_{cp}; U_{cp}$	$I\sim; U\sim$	$I\text{—}; U\text{—}$ $I\sim; U\sim$	$I\text{—}; U\text{—}$ $I\sim; U\sim$	$I\text{—}; U\text{—}$ $I\sim; U\sim$	$I\text{—}; U\text{—}$ $I\sim; U\sim$
Вращающий момент	$M_{вр} = BswI$	$M_{вр} = BswI_{cp}$	$M_{вр} = (AI^2) / R_{\Sigma}$	$M_{вр} = (I^2 / 2)dL / d\alpha$	$M_{вр} = I_n \cdot I_n \cdot \cos \psi \cdot dM / d\alpha$	$M_{вр} = I_n \cdot I_n \cdot \cos \psi \cdot dM / d\alpha$	$M_{вр} = (U^2 / 2)dC / d\alpha$
Уравнение преобразования прибора	$\alpha = (Bsw / W)I$	$\alpha = (Bsw / W)I_{cp}$	$\alpha = (AI^2) / WR_{\Sigma}$	$\alpha = (I^2 / 2W)dL / d\alpha$	$\alpha = (I^2 / W)dM / d\alpha$	$\alpha = (I^2 / W)dM / d\alpha$	$\alpha = (U^2 / 2W) \cdot dC / d\alpha$
Чувствительность	$S_I = Bsw / WL$	$S_I = Bsw / W$	$S_I = 2AI / WR_{\Sigma}$	$S_I = (I / W)dL / d\alpha$	$S_I = (2I / W)dM / d\alpha$	$S_I = (2I / W)dM / d\alpha$	$S_I = (U / W)dC / d\alpha$
Характер шкалы	Равномерный	Равномерный	Неравномерный Степенной	Неравномерный Степенной	Неравномерный Степенной	Неравномерный Степенной	Неравномерный Степенной
Оценка по точности	Высокая	Средняя	Низкая	Средняя	Высокая	Низкая	Высокая
Оценка по чувствительности	Высокая	Средняя	Низкая	Средняя	Низкая	Высокая	Низкая
Частотный диапазон	—	До 300 кГц	До 10 МГц	До 2-3 кГц	До 5 кГц	До 1,5 кГц	До 20 МГц
Зависимость показаний от формы тока	—	При градуировке: в I_{cp} — не зависит; в $I\sim$ — сильная	Не зависит	Слабая	Слабая	Сильная	Не зависит

ется с помощью шунтов, добавочных сопротивлений, измерительных трансформаторов и измерительных усилителей.

Особенности построения ваттметров и варметров

Для измерения мощности в цепях постоянного тока используют ваттметры с электродинамическим или ферродинамическим ИМ.

В цепях переменного тока применяют:

для измерения активной мощности — ваттметры;

для измерения реактивной мощности — варметры.

И в тех и других приборах переменного тока также используют электродинамические или ферродинамические ИМ. Далее остановимся лишь на приборах переменного тока.

Как было показано ранее, в электродинамических и ферродинамических ИМ вращающий момент создается за счет взаимодействия магнитных полей двух катушек и зависит от фазового сдвига между токами этих катушек. С целью измерения мощности неподвижная катушка соединяется последовательно с нагрузкой, как амперметр, а подвижная катушка — параллельно с нагрузкой, как вольтметр (рис. 12). Поэтому токовая катушка ваттметра должна иметь малое сопротивление, а катушка напряжения большое. Для ограничения тока в катушке напряжения в ее цепь включается добавочное сопротивление R_D .

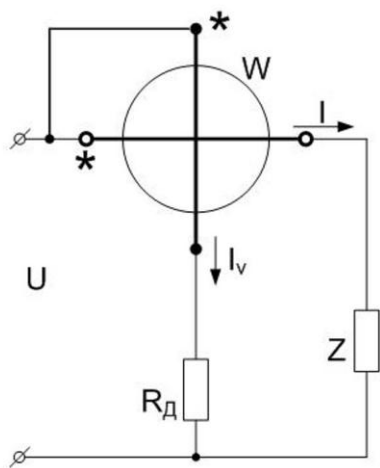


Рис. 12

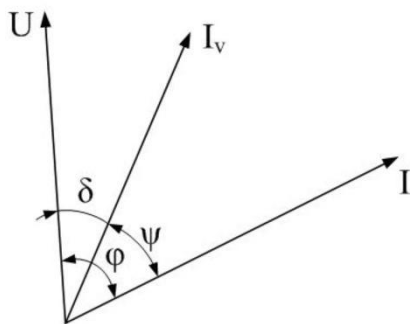


Рис. 13

На рис. 13 представлена векторная диаграмма этой цепи. На этой диаграмме

приняты следующие обозначения:

φ — фазовый сдвиг между напряжением и током нагрузки Z ;

ψ — фазовый сдвиг между токами подвижной и неподвижной катушек;

δ — фазовый сдвиг между напряжением и током катушки напряжения.

В реальных условиях подвижная катушка ваттметра обладает небольшой индуктивностью и поэтому полное сопротивление катушки носит индуктивный характер, что и является причиной фазового сдвига δ между напряжением и током катушки напряжения.

Угол фазового сдвига δ мал, так как индуктивная составляющая полного сопротивления цепи катушки напряжения небольшая по сравнению с активной составляющей этого сопротивления.

Ввиду малости угла δ им можно пренебречь. В этом случае угол отклонения α указателя ваттметра будет находиться в линейной зависимости от значения измеряемой мощности P :

$$\alpha = S_p P = S_p UI \cos \varphi. \quad (30)$$

Коэффициент S_p представляет собой чувствительность ваттметра, которая благодаря конструктивным приемам остается постоянной на всем диапазоне измерений ваттметра. Именно поэтому шкалы ваттметров имеют равномерный характер.

Так как градуировка равномерной шкалы ваттметра, согласно уравнению (30), осуществляется с учетом фазового сдвига на угол φ , а реально вращающий момент в ИМ и отклонение его указателя пропорциональны фазовому сдвигу на угол ψ , в показаниях ваттметра появляется погрешность, пропорциональная разности углов $(\psi - \varphi) = \delta$. Ее называют угловой погрешностью измерения мощности δ_p и определяют по формуле

$$\delta_p = 100 \operatorname{tg} \varphi \sin \delta, \%. \quad (31)$$

Значение этой погрешности на частотах до 100 кГц незначительно, так как индуктивность катушки напряжения ваттметра на этих частотах намного меньше ее активного сопротивления и, следовательно, угол δ очень мал. На частотах до 100 кГц угловой погрешностью измерения мощности δ_p можно пренебречь, однако на более высоких частотах этого делать нельзя. Как следует из выражения (31), угловая погрешность при угле $\varphi = 0$ также равна нулю и возрастает с увеличением угла φ , стремясь к бесконечности при $\varphi = \pm 90^\circ$, так как при таких углах $\varphi \operatorname{tg} \varphi = \infty$. Такое положение означает, что при выборе ваттметра следует обращать внимание не только на характеристики самого прибора (угол δ), но и на характер нагрузки той цепи, в которую включен ваттметр (угол φ).

В цепях со значительной реактивной нагрузкой угол φ большой ($\varphi \rightarrow 90^\circ$) и

поэтому угловая погрешность ваттметра согласно формуле (31) велика. В цепях же с малой реактивной нагрузкой угол φ небольшой ($\varphi \rightarrow 0^\circ$) и поэтому угловая погрешность ваттметра согласно той же формуле (31) мала.

С учетом изложенного следует сделать вывод о том, что одним и тем же ваттметром не следует измерять мощность в цепях с разной степенью реактивности. Поэтому у ваттметров нормируется, кроме номинального напряжения U_n и номинального тока I_n еще и номинальный коэффициент мощности $\cos \varphi_n$. Номинальный коэффициент мощности ваттметра указан на шкале прибора и должен быть учтен при расчете цены деления ваттметра C_p . Цена деления ваттметра определяется по формуле

$$C_p = (U_n I_n \cos \varphi_n) / \alpha_p, \quad (32)$$

где α_p — число делений шкалы ваттметра.

При выборе ваттметра следует учитывать то, что он может использоваться: либо как прибор для измерения мощности; либо как рабочий эталон при поверке другого ваттметра.

В первом случае $\cos \varphi_n$ ваттметра должен быть не меньше коэффициента мощности нагрузки в той цепи, в которую включен ваттметр. При несоблюдении этого условия возможно «зашкаливание» прибора. В то же время $\cos \varphi_n$ ваттметра не должен быть значительно больше коэффициента мощности нагрузки цепи, так как при этом увеличится угловая погрешность измерения мощности.

Во втором случае $\cos \varphi_n$ ваттметра, используемого в качестве рабочего эталона, должен быть равен номинальному коэффициенту мощности поверяемого ваттметра для того, чтобы обеспечить возможность реализации поверки методом непосредственного сличения.

Как следует из схемы на рис. 12, ваттметры имеют по две пары зажимов: одна пара — токовые зажимы, другая — зажимы напряжения. Один из токовых зажимов и один из зажимов напряжения обозначены звездочками и называются генераторными зажимами. Зажимы, обозначенные звездочками, соединяются вместе и подключаются к одному из проводов источника питания. Это делается для правильного отклонения (по часовой стрелке) подвижной части ваттметра.

Для измерения мощности трехфазной нагрузки можно использовать как трехфазные, так и однофазные ваттметры.

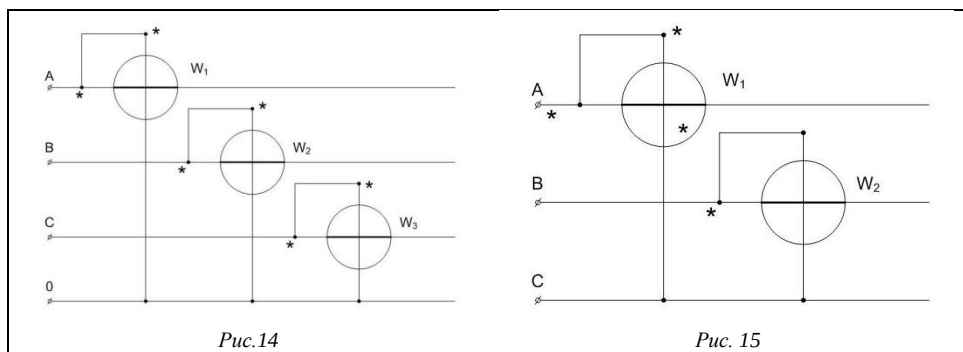
Для измерения мощности в четырехпроводной трехфазной цепи необходимы три однофазных ваттметра, включенных по схеме, представленной на рис. 14. Каждый из ваттметров этой схемы измеряет мощность соответствующей фазы, так как на него подано напряжение и через него протекает ток одной фазы. Поэтому общая мощность трехфазной

нагрузки $P_{общ}$ определяется как сумма показаний ваттметров:

$$P_{общ} = P_1 + P_2 + P_3. \quad (33)$$

Для измерения мощности в трехпроводной трехфазной цепи необходимы два однофазных ваттметра, включенных по так называемой схеме Арона, приведенной на рис. 15. Ни один из двух ваттметров в этой схеме не измеряет мощности какой-либо фазы. Однако известно, что алгебраическая сумма показаний этих двух ваттметров равна мощности трехфазной нагрузки:

$$P_{общ} = P_1 + P_2. \quad (34)$$



Трехфазные ваттметры — это три или два однофазных ваттметра с одной общей осью в общем корпусе. Внутренние соединения трехэлементного или двухэлементного трехфазного ваттметра соответствуют схемам, представленным на рис. 14 или рис. 15. Следует иметь в виду, что трехэлементный ваттметр применяется в четырехпроводной трехфазной цепи, а двухэлементный — в трехпроводной. Число элементов трехфазного ваттметра можно определить без вскрытия прибора по условному знаку рода его рабочего тока или по числу пар токовых зажимов.

Время установления показаний

Одной из динамических характеристик приборов прямого действия является время установления показаний. При скачкообразном изменении сигнала на входе прибора его показания меняются с некоторым запаздыванием из-за электрической и механической инерции в электрической цепи и конструкции прибора. На переход от одного установившегося показания к другому требуется время. Оно определяется как промежуток времени от

момента скачкообразного изменения измеряемой величины до момента установления с определенной погрешностью показания, соответствующего новому установившемуся значению измеряемой величины.

Экспериментально время установления показаний $t_{уст}$ определяется с помощью секундомера следующим образом:

Примерно в середине шкалы прибора выделяют числовую отметку X_0 (рис 16):

$$X_0 \approx 0,5 X_k \quad (35)$$

Где X_k — конечное значение диапазона измерения прибора.

Около отметки X_0 выделяют полосу шириной R , равной двум значениям предела допускаемой погрешности прибора Δ_n :

$$R = 2\Delta_n. \quad (36)$$

На вход прибора подают измеряемую величину, значение которой соответствует отметке X_0 , и одновременно включают секундомер. Этот момент на рис. 16 соответствует точке $t = 0$.

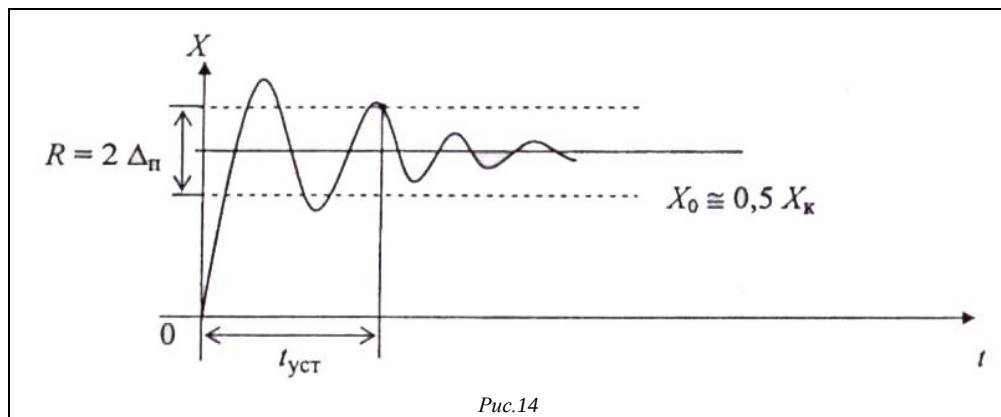


Рис.14

Указатель прибора доходит до отметки X_0 и совершает около нее несколько колебаний.

Секундомер останавливают в тот момент, когда указатель, войдя в полосу, ширина которой обозначена на рис. 16 символом R , больше из нее не выходит. Зафиксированное таким образом показание секундомера и будет временем установления показаний прибора $t_{уст}$.

3. НОРМИРУЕМЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Нормируемые метрологические характеристики амперметров и вольтметров устанавливает ГОСТ 8711-93, а ваттметров и варметров — ГОСТ 8476-93. Эти стандарты распространяются на показывающие аналоговые приборы прямого действия и невзаимозаменяемые вспомогательные части, используемые с ними.

Класс точности

Согласно ГОСТ 30012.1-93 класс точности — это группа измерительных приборов, которые удовлетворяют определенным метрологическим требованиям, предназначенным сохранить допускаемые погрешности и изменения показаний в установленных пределах.

В ГОСТ 30012.1-93, ГОСТ 8711-93 и ГОСТ 8476-93 вместо понятия «дополнительная погрешность», широко используемого в отечественной метрологии, введен термин «изменение показаний».

Согласно ГОСТ 30012.1-93 изменение показаний — это разность между двумя показаниями одной и той же измеряемой величины прибора, когда одна влияющая величина принимает последовательно два различных установленных значения в пределах рабочей области применения.

Обозначение класса точности принято в виде числа.

Амперметры и вольтметры согласно ГОСТ 8711-93 относят к одному из следующих классов: 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5.

Класс точности 4 введен в качестве дополнительного требования народного хозяйства для России (приложение 2 ГОСТ 8711-93).

Ваттметры и варметры согласно ГОСТ 8476-93 относят к одному из следующих классов: 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 5.

Для приборов, измеряющих несколько величин (ток и напряжение, активную и реактивную мощность), а также с несколькими диапазонами измерений или с многорядными шкалами (для амперметров и вольтметров) допускается устанавливать несколько классов точности. Согласно ГОСТ 30012.1-93 число, обозначающее класс точности прибора, соответствует пределу допускаемого значения основной погрешности, выраженному в процентах, с положительным и отрицательным знаками. Например, для прибора класса точности 1 предел допускаемого значения основной погрешности составляет $\pm 1\%$.

Предел допускаемого значения основной погрешности

Предел допускаемого значения основной погрешности приборов выражается в виде приведенной погрешности, хотя сам термин «приведенная погрешность» в ГОСТ 30012.1-93, ГОСТ 8711-93 и ГОСТ 8476-93 не используется. Однако при определении предела основной погрешности в п. 4.2 ГОСТ 300.12.1-93 указывается, что основная погрешность выражается в процентах от нормирующего значения. Это определение точно соответствует термину «приведенная погрешность» (термин 301-08-08 МЭК 50 (301) «Международный электротехнический словарь». Глава 301 «Общие термины по электрическим измерениям»), о чем сделана ссылка в рассматриваемом пункте стандарта.

С учетом сказанного предел допускаемого значения основной погрешности γ_n рассматриваемых приборов можно представить в виде зависимости

$$\gamma_n = (\Delta_n / X_N) 100, \% \quad (37)$$

где Δ_n — предел допускаемого значения абсолютной погрешности поверяемого прибора; X_N — нормирующее значение.

Согласно ГОСТ 30012.1-93 нормирующее значение — это точно установленное значение величины, к которому относится погрешность (абсолютная) прибора для определения его точности.

У амперметров и вольтметров (ГОСТ 8711-93), ваттметров и варметров (ГОСТ 8476-93) нормирующее значение X_N принимается равным:

- для приборов с нулевой отметкой на конце шкалы или вне шкалы — конечному значению диапазона измерений (X_K), т.е. $X_N = X_K$. В этом случае для маркировки класса точности используется символ Е-1 (таблица III-1 ГОСТ 30012.1-93, раздел 8), например, для прибора класса точности 1 обозначение символа Е-1 имеет вид: 1;
- для приборов с нулевой отметкой внутри шкалы — сумме пределов диапазонов измерений (без учета их знаков) слева от нулевой отметки ($X_{кл}$) и справа от нулевой отметки ($X_{кп}$), т.е. $X_N = |X_{кл}| + |X_{кп}|$. В этом случае для маркировки класса точности используется также символ Е-1;
- для приборов, отметки шкал которых не соответствуют непосредственно их входной электрической величине — интервалу измерений (алгебраической разности между конечным (X_K) и начальным (X_n) значениями диапазона измерений), т.е. $X_N = X_K - X_n$. В этом случае для маркировки класса точности используется символ Е-10 (таблица III-1 ГОСТ 30012.1-93, раздел 8), например, для прибора класса точности 1 обозначение символа Е-10 имеет вид: | 1 |.

Следует отметить, что согласно ГОСТ 30012.1-93 «основная погрешность

включает другие погрешности, обусловленные трением, дрейфом усилителя и т. д.» и поэтому как отдельную составляющую для амперметров, вольтметров, ваттметров, варметров в ГОСТ 8711-93 и ГОСТ 8476-93 не нормируют вариацию показаний, как это было в ГОСТ 8711-78 и ГОСТ 8476-78.

Отклонение от нуля

Отклонение указателя от нулевой отметки шкалы Δ_0 (невозвращение указателя к нулевой отметке) при плавном подводе указателя к этой отметке от отметки, соответствующей верхнему значению диапазона измерений, не должно превышать значения, рассчитанного по формуле

$$\Delta_0 = 0,005 KL, \quad (38)$$

где K — число, обозначающее класс точности прибора;

L — длина всей шкалы прибора, мм.

Для России в качестве дополнительного требования (приложение 2 ГОСТ 8711-93) для амперметров и вольтметров вибро- и ударопрочных, вибро- и удароустойчивых, стационарных приборов с наибольшим размером фланца до 100 мм включительно и переносных с размером лицевой части до 150 мм включительно, а также приборов с углом шкалы более 120° , приборов с подвижной частью на растяжках, приборов класса точности 0,05 и самопишущих приборов отклонение указателя от нулевой отметки шкалы Δ_0 не должно превышать значения, рассчитанного по формуле

$$\Delta_0 = 0,01 KL, \quad (39)$$

4. МЕТОДИКА ПОВЕРКИ И КАЛИБРОВКИ АМПЕРМЕТРОВ, ВОЛЬТМЕТРОВ, ВАТТМЕТРОВ И ВАРМЕТРОВ

Амперметры, вольтметры, ваттметры и варметры поверяются в соответствии с ГОСТ 8.497-83. Нормативные документы на калибровку этих приборов пока не разработаны и поэтому согласно ПР 50.2.016-94 «Требования к выполнению калибровочных работ» рекомендуется при их калибровке применять соответствующие нормативные документы по поверке, т.е. ГОСТ 8.497-83.

Операции поверки

При поверке выполняются следующие операции:

1. Внешний осмотр
2. Опробование
3. Проверка электрической прочности изоляции и сопротивления изоляции (операция выполняется при первичной поверке)
4. Определение основной погрешности, вариации показаний и остаточного отклонения указателя от нулевой отметки

Средства поверки

К используемым для поверки рабочим эталонам (образцовым средствам измерений — ОСИ) предъявляются требования, определяемые общими принципами выбора эталонов. Эти принципы диктуются необходимостью обеспечения заданной достоверности поверки и реальными технико-экономическими возможностями метрологической службы, т.е. номенклатурой имеющихся в наличии рабочих эталонов (ОСИ).

ОСИ для поверки амперметров, вольтметров, ваттметров и варметров выбираются исходя из:

регламентированного методикой поверки соотношения α_n допускаемой абсолютной погрешности образцового и поверяемого средств измерений; диапазона измерений поверяемых и образцовых измерительных приборов; вида измеряемой поверяемым прибором величины.

Рассмотрим более подробно эти три требования.

1. Соотношение α_n допускаемой абсолютной погрешности эталонного $\Delta_э$ и поверяемого Δ_n средств измерений, т.е.

$$\alpha_n = |\Delta_э| / |\Delta_n| \quad (40)$$

должно быть не более 1/5 при поверке приборов всех классов точности.

При поверке приборов классов точности 1,0-5,0 допускается соотношение α_n не более 1/4, а при поверке приборов классов точности 0,05-0,5 α_n не должно превышать 1/3, при этом вариация показаний приборов, аттестованных в качестве рабочих эталонов, не должна превышать $0,5\Delta_n$. Такое соотношение α_n объясняется невозможностью обеспечить большую достоверность результатов поверки высокоточных приборов в связи с отсутствием соответствующих средств поверки. Допускается реализовать при поверке соотношение $\alpha_n = 1/2,5$, но при условии введения поправок к показаниям рабочих эталонов (ОСИ).

2. Наиболее благоприятным является случай совпадения диапазонов измерений ОСИ и поверяемого прибора. Для поверки могут использоваться и рабочие эталоны, диапазоны измерений которых несколько больше, чем у поверяемых приборов. Однако при этом они должны иметь более высокий класс точности, чем следовало бы по п. 1:

$$K_3 \leq (\alpha_n K_n X_{kn}) / X_{k3}, \quad (41)$$

где K_n , K_3 — класс точности поверяемого и эталонного измерительных приборов соответственно;

X_{kn} , X_{k3} — конечные значения диапазонов измерений поверяемого и эталонного измерительных приборов соответственно.

Неравенство (41) получено из выражения (40) путем подстановки вместо пределов абсолютных погрешностей поверяемого и эталонного измерительных приборов соответствующих формул для их расчета, а именно:

$$\Delta_n = \pm K_n X_{kn} / 100; \quad (42)$$

$$\Delta_3 = \pm K_3 X_{k3} / 100. \quad (43)$$

В формулах (42) и (43) учтен тот факт, что число, обозначающее класс точности K амперметров, вольтметров, ваттметров и варметров, численно равно значению предела допускаемой основной погрешности у этих приборов, выраженному в процентах.

3. Очевидно, что выбор рабочего эталона зависит также и от вида измеряемой поверяемым прибором величины.

В практической поверочной деятельности при обязательном выполнении первого требования бывает трудно удовлетворить двум последним требованиям. Это обстоятельство приводит к необходимости применения измерительных преобразователей:

- измерительных трансформаторов тока и напряжения;

- делителей напряжения;
- шунтов;
- измерительных резисторов.

Все поверочные установки, применяемые для поверки амперметров, вольтметров, ваттметров и варметров, имеют в своем составе измерительные преобразователи.

Кроме перечисленных требований к выбору рабочих эталонов, при поверке амперметров, вольтметров, ваттметров и варметров учитывается род тока, для измерений которого предназначены поверяемые приборы. Поэтому в ГОСТ 8.497-83 произведено четкое разделение средств поверки (поверочных установок и рабочих эталонов), предназначенных для поверки приборов на постоянном и переменном токе.

При поверке амперметров классов точности 1-5 на постоянном токе используется поверочная установка У300 в комплекте с образцовыми амперметрами класса точности 0,2.

Амперметры классов точности 0,05-0,5 поверяются при помощи поверочных установок У358 и отдельно используемых калибраторов постоянного тока типа П321.

Вольтметры классов точности 1-5 на постоянном токе могут поверяться на поверочной установке У300 в комплекте с образцовыми вольтметрами классов точности 0,1-0,5.

Вольтметры классов точности 0,05-0,5 на постоянном токе поверяются при помощи поверочных установок У358, калибраторов напряжения постоянного тока типа В1-12 с пределом допускаемой погрешности 0,005-0,01 %, программируемых калибраторов типа П320 с пределом допускаемой погрешности 0,005-0,01 %, универсального калибратора В1-28, цифровых вольтметров типа Щ1516 с пределом допускаемой погрешности 0,01-0,06 %.

При поверке ваттметров на постоянном токе используются перечисленные выше поверочные установки, предназначенные для поверки амперметров и вольтметров.

При поверке амперметров, вольтметров и ваттметров классов точности 1-5 на переменном токе используют: поверочную установку У300, которая питается от внешних источников питания 220В с частотой от 50-500 Гц; установку У1134М, питание которой осуществляется от трехпроводной сети трехфазного переменного тока напряжением 220В с частотой 50 Гц или от четырехпроводной сети напряжением 380В. В комплекте с установками применяются измерительные приборы, аттестованные в качестве рабочих эталонов (ОСИ) классов точности 0,1; 0,2; 0,5.

Амперметры, вольтметры и ваттметры классов точности 0,05-0,5 на переменном токе поверяются при помощи: универсальной автоматизированной поверочной установки УППУ-1М с пределом допускаемой погрешности 0,03-0,1 %; калибраторов типа В1-9 (диапазон

частот 20 Гц — 100 кГц, предел допускаемой погрешности 0,02-0,1 %), В1-20 (20 Гц — 200 кГц, предел допускаемой погрешности 0,04-0,2%), В-21 (10 Гц — 100 МГц, предел допускаемой погрешности 0,07-2%), В1-28 (0,1 Гц — 120 кГц, предел допускаемой погрешности 0,03-0,1 %); цифровых вольтметров типа Ф4830 (предел допускаемой погрешности 0,01-0,1 %).

При поверке амперметров, вольтметров, ваттметров и варметров допускается применять другие средства измерений, удовлетворяющие по точности требованиям ГОСТ 8.497-93.

Условия поверки и подготовки к ней

Условия поверки электроизмерительных приборов в общем случае сводятся к выполнению нормальных условий поверки, регламентированных ГОСТ 8.395-80. Нормальные условия поверки определяются нормальными значениями влияющих величин и неинформативных параметров, которые непосредственно не измеряются, но оказывают влияние на результаты и погрешности измерений. В общем случае нормальными условиями при определении основной погрешности считаются условия, при которых составляющая погрешности поверяемого средства измерений от действия совокупности влияющих величин не будет превышать 0,35 предела его основной допускаемой погрешности:

$$\sum_{i=1}^n |\Delta_{\xi i}| \leq 0,35 |\Delta_n|, \quad (44)$$

где $\Delta_{\xi i}$ — погрешность от влияния i -й влияющей величины;

Δ_n — предел допускаемой основной погрешности поверяемого прибора;

n — число влияющих величин.

Влияющие величины и неинформативные параметры объединяются по общему признаку в различные группы:

климатические влияющие величины;

механические влияющие величины;

неинформативные параметры, характеризующие электропитание средств измерений.

Последняя группа влияющих величин определяется параметрами применяемых при поверке источников питания (ИП). Поэтому к ИП предъявляются требования по поддержанию нормальных значений:

- частоты питающей сети;
- напряжения питающей сети;
- коэффициента нелинейных искажений;

- коэффициента переменной составляющей в выпрямленном токе или напряжении;
- амплитуды пульсации выпрямленного тока или напряжения.

Кроме того, ИП должны обеспечивать определенную стабильность и плавность регулировки своих выходных параметров.

К условиям поверки следует отнести рабочее положение и местонахождение поверяемого прибора (в термостате, экране), а также время выдержки в заданных условиях перед поверкой.

При поверке амперметров, вольтметров, ваттметров и варметров в соответствии с разделом 2 ГОСТ 8.497-83 должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающего воздуха для приборов классов точности 0,05-0,5 не должна выходить за пределы $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$, для приборов классов точности 1,0-5,0 $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$;
- относительная влажность воздуха должна быть от 30 до 80 %;
- атмосферное давление (100 ± 6) кПа.

Поверяемые приборы должны быть подготовлены к работе в соответствии с технической документацией (ТД) на приборы конкретных типов.

Приборы, отградуированные с калиброванными проводами, поверяются совместно с этими проводами. Приборы с взаимозаменяемыми вспомогательными частями можно поверять без них, а приборы с невзаимозаменяемыми вспомогательными частями поверяются вместе с ними.

Трехфазные приборы поверяют при симметричном напряжении и равномерной нагрузке фаз.

Симметричность напряжений и равномерность нагрузки означают равенство трех напряжений и трех токов по модулю и 120° -й фазовый сдвиг этих напряжений и токов относительно друг друга.

Согласно ГОСТ 8476-93:

Каждое из значений напряжений не должно отличаться от среднего значения напряжения системы более чем на 1 %. В соответствии с приложением 2 ГОСТ 8476-93 при поверке ваттметров для условий России это отличие допускается до 3%. Среднее значение X_{cp} напряжения (тока) определяется по формуле

$$X_{cp} = (X_A + X_B + X_C) / 3, \quad (45)$$

где X_A ; X_B ; X_C — напряжения (линия — линия или линия — нейтраль), токи в фазах трехфазной цепи.

Каждое из значений токов в фазах не должно отличаться от среднего значения тока более чем на 1 %.

Углы между каждым из токов и соответствующим напряжением линия —

нейтраль не должны отличаться от среднего значения угла более чем на 2° . Для условий России согласно приложению 2 ГОСТ 8476-93 это отличие допускается иметь до 3° .

Перед поверкой приборы должны быть выдержаны в нормальных условиях в течение времени, установленного в ТД на конкретный прибор.

Рабочие приборы, предназначенные для измерений на постоянном и переменном токе, поверяют на постоянном и переменном токе.

Приборы, аттестованные в качестве рабочих эталонов (ОСИ), поверяют только на том роде тока, на котором их используют в качестве рабочих эталонов.

При периодической поверке рабочих электродинамических приборов с частотой до 100 Гц допускается поверять их только на постоянном токе, что объясняется очень незначительной угловой погрешностью таких приборов на этих частотах.

При поверке на постоянном токе приборов магнитоэлектрической системы в качестве рабочих эталонов применяют приборы этой же системы, а при поверке приборов других систем — приборы электродинамической и электромагнитной систем. Это требование ГОСТ 8.497-83 вызвано тем, что напряжение или ток на выходе источника постоянного тока всегда содержит переменную составляющую, вызванную недостаточной фильтрацией в сетевых выпрямителях (50-250 Гц), промышленными и радиопомехами (103-108 Гц) и собственными шумами источников в самом широком спектре частот от долей герц до сотен килогерц.

Приборы магнитоэлектрической системы реагируют только на постоянную составляющую напряжения U_0 — источника сигнала. Приборы других систем, измеряющих действующее значение напряжения U_0 , учитывают еще и переменную составляющую $U_{\sim}$ этого напряжения, определяемого выражением

$$U_0 = U_2 - + U_{2\sim}. \quad (46)$$

Очевидно, что неравенство $U_0 \neq U_2 -$ вызовет методическую погрешность поверки, если один из приборов в поверочной схеме будет магнитоэлектрической системы, а второй — системы, измеряющей действующее значение напряжения.

Поверку рабочих приборов на переменном токе следует проводить при нормальном значении частоты $f_{норм}$. Если указан диапазон нормальных значений частот, включающий частоту 50 Гц, поверку проводят на частоте 50 Гц. Если диапазон частот не включает частоту 50 Гц, поверку проводят на частоте, рассчитанной по формуле

$$f = f_{κ} f_{н}, \quad (47)$$

где f_k — конечное значение частоты диапазона нормальных значений частот, Гц;
 f_n — начальное значение частоты диапазона нормальных значений частот, Гц.

Если прибор используют при определенных частотах внутри его диапазона частот, то при периодической поверке он поверяется на этих частотах.

При первичной поверке прибор поверяется на трех частотах:

на частоте, соответствующей начальному значению диапазона нормальных частот, $f_1 = f_n$;

на одной частоте внутри диапазона нормальных значений частот $f_n < f_2 < f_k$;

на частоте, соответствующей конечному значению диапазона нормальных частот, $f_3 = f_k$.

Приборы, аттестованные в качестве рабочих эталонов (ОСИ), на переменном токе поверяют на трех частотах:

на частоте 50 Гц $f_1 = 50 \text{ Гц}$;

на частоте, рассчитанной по формуле, $f_2 = \sqrt{f_k f_n}$;

на частоте, соответствующей конечному значению диапазона нормальных частот, $f_3 = f_k$.

При поверке приборов на переменном токе частоту можно выбирать с помощью алгоритма, представленного на рис. 17.

Перед поверкой указатель поверяемого прибора при отключенных цепях тока и напряжения устанавливается на нулевую отметку механическим корректором. Указатели ваттметров и варметров классов точности 0,5-5,0 устанавливают на нулевую отметку при номинальном напряжении. Цепь тока должна быть разомкнута при включенном источнике питания.

Затем приборы включают в цепь и прогревают их для установления рабочего режима. Время прогрева и нагрузки должно быть указано в ТД на приборы конкретных типов.

После подготовки поверяемого прибора и рабочих эталонов (ОСИ) к поверке с соблюдением правил электробезопасности приступают к выполнению операций поверки.

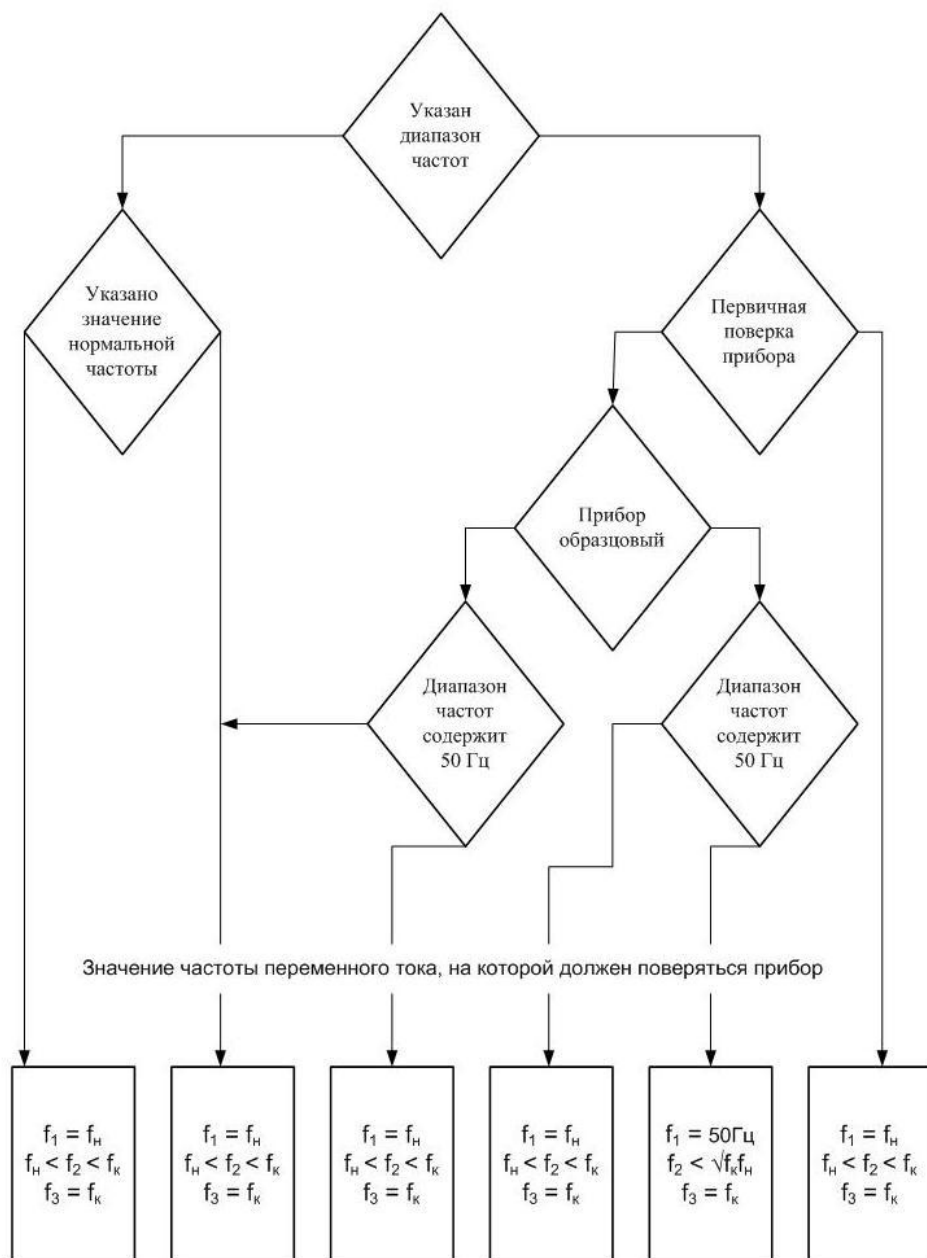
Проведение поверки

Внешний осмотр

При внешнем осмотре должны быть установлены:

- отсутствие внешних повреждений и повреждений покрытия шкалы;
- четкость всех надписей;
- укомплектованность прибора запасными частями, необходимыми для проведения поверки.

Алгоритм выбора частоты переменного тока при поверке амперметров, вольтметров, ваттметров и варметров



Опробование

При опробовании необходимо проверить:

- надежность закрепления зажимов приборов;
- плавность хода и четкость фиксации переключателей.

Проверка электрической прочности сопротивления изоляции

Электрическую прочность и сопротивление изоляции проверяют только при выпуске приборов из производства и после ремонта. Для выполнения этой операции используют омметр с погрешностью не более 30% и пробойную установку типа ВУФ5-3 или УПУ-10. Мощность пробойной установки при испытательном напряжении от 0,5 до 3 кВ должна быть не менее 0,25 кВ•А, а при испытательном напряжении свыше 3 кВ - не менее 0,5 кВ•А. Регулировочное устройство установки должно допускать плавную регулировку напряжения от нуля до максимального значения испытательного напряжения.

Определение основной погрешности, вариации показаний и остаточного отклонения указателя приборов от нулевой отметки

При определении основной погрешности, вариации показаний и остаточного отклонения указателя от нулевой отметки необходимо учесть следующие положения:

1. Основную погрешность и вариацию показаний однодиапазонных приборов классов точности 0,05-0,2 определяют на каждой числовой отметке.

(ГОСТ 8711-93 и ГОСТ 8476-93 не нормируют вариацию показаний, однако методикой поверки в ГОСТ 8.497-83 предусмотрен контроль этой метрологической характеристики и поэтому для полноты представления рассматриваемого материала последовательность действий при определении вариации показаний будет также изложена.

2. Основную погрешность и вариацию показаний приборов классов точности 0,5-5, а также приборов с равномерной шкалой с числом отметок более 10 допускается определять на пяти равномерно распределенных по диапазону измерений отметках шкалы, в том числе на отметках, соответствующих начальному и конечному значениям диапазона измерений поверяемого прибора.

3. Основную погрешность и вариацию показаний много диапазоновых приборов определяют на всех числовых отметках только на одном, произвольно выбранном диапазоне измерения. На остальных диапазонах измерений поверяемого прибора достаточно определить погрешность и вариацию показаний на отметке, соответствующей конечному значению диапазона измерений, и отметке, на которой получена максимальная погрешность на полностью поверенном диапазоне измерений.

4. Основную погрешность и вариацию показаний многодиапазонных приборов, аттестованных в качестве рабочих эталонов (ОСИ), определяют на всех числовых отметках шкалы только на тех диапазонах измерения, на которых они используются для поверки. На остальных диапазонах их поверяют только на двух отметках шкалы, как было указано выше.
5. Приборы с несколькими шкалами или приборы, измеряющие несколько величин, должны быть поверены на каждой шкале и для каждой величины отдельно.
6. Приборы с двусторонней шкалой поверяют на всех числовых отметках левой и правой частей шкалы.
7. Основную погрешность и вариацию показаний приборов постоянного и переменного тока классов точности 0,05 и 0,1 и приборов классов точности 0,2 и 0,5, если они аттестованы в качестве рабочих эталонов (ОСИ), определяют при двух направлениях постоянного тока при уменьшении и увеличении показаний (при поверке приборов магнитоэлектрической системы вместо изменения полярности их поворачивают на 180°).
8. Ни одно из значений основной погрешности, полученных при четырех измерениях, не должно превышать предела допускаемого значения основной погрешности поверяемого прибора.
9. При необходимости определения поправок основную погрешность поверяемого прибора определяют для каждой проверяемой отметки шкалы как среднее арифметическое из четырех значений погрешности.
10. Если основная погрешность прибора была определена при одном направлении тока, при уменьшении и увеличении показаний, то при необходимости введения поправки к показаниям при дальнейшей эксплуатации прибора основная погрешность прибора определяется как среднее арифметическое из двух значений погрешности, при этом ни одно из них не должно превышать предела допускаемого значения основной погрешности поверяемого прибора.
11. Вариацию показаний приборов на поверяемой отметке шкалы определяют как модуль разности показаний при подходе к поверяемой отметке со стороны меньших и со стороны больших значений. Для приборов, поверяемых при двух направлениях тока, за вариацию показаний в каждой точке шкалы прибора принимают наибольшее из двух значений, полученных при прямом и обратном токе. Вариацию показаний рассчитывают по результатам измерений, полученных при определении основной погрешности поверяемого прибора.
12. Вариация показаний приборов, аттестованных в качестве рабочих эталонов (ОСИ), согласно ГОСТ 8.497-83 не должна превышать половины значений предела допускаемой основной погрешности этого прибора. Вариация показаний рабочих приборов в ГОСТ 8711-93 и ГОСТ 8476-93 не нормируется.

13. Остаточное отклонение указателя шкалы прибора от нулевой отметки определяют по положению указателя поверяемого прибора после плавного уменьшения значения измеряемой величины от конечного значения до нуля. Остаточное отклонение указателя шкалы прибора от нулевой отметки Δ_0 не должно превышать значения, рассчитанного по формуле

$$\Delta_0 = 0,005 KL, \text{ мм}, \quad (48)$$

где K — число, обозначающее класс точности прибора;
 L — длина шкалы, мм.

14. Остаточное отклонение указателя от нулевой отметки вибро- и ударопрочных, вибро- и удароустойчивых щитовых приборов с наибольшим размером фланца 100 мм включительно, переносных приборов с размером лицевой части до 150 мм включительно, приборов с углом шкалы более 120° , приборов с подвижной частью на растяжках, приборов класса точности 0,05 и самопишущих приборов не должно превышать значения, рассчитанного по формуле

$$\Delta_0 = 0,01 KL, \text{ мм}, \quad (49)$$

15. Предел допускаемого значения основной погрешности γ_n амперметров, вольтметров, ваттметров и варметров выражается в процентах от нормирующего значения (приведенная погрешность):

$$\gamma_n = \pm (\Delta_n / X_N) 100, \quad (50)$$

где Δ_n — предел допускаемого значения абсолютной погрешности в единицах измеряемой величины;

X_N — нормирующее значение в единицах измеряемой величины.

В зависимости от используемых при проверке поверочных установок или других средств проверки допускаемую погрешность поверяемого прибора, выраженную в процентах от нормирующего значения, иногда необходимо пересчитать в другую, более удобную для проведения расчетов форму выражения.

При проверке приборов при помощи поверочных установок У300, У1134М и калибраторов типа П320, П321 погрешность, выраженную в процентах от нормирующего значения, удобно пересчитать в абсолютную форму:

$$\Delta_n = \pm (\gamma_n X_N) / 100, \quad (51)$$

где X_N — нормирующее значение в единицах измеряемой величины или число делений шкалы.

При использовании калибраторов типа В1-9 погрешность поверяемого прибора следует пересчитать для каждой поверяемой отметки в относительную форму:

$$\delta_{ni} = \pm \gamma_{ni} (X_N / X_i), \quad (52)$$

где δ_{ni} — допускаемое значение относительной погрешности в i -й поверяемой точке;

X_i — значение величины, соответствующее поверяемой отметке шкалы поверяемого прибора.

При использовании в качестве рабочих эталонов (ОСИ) цифровых вольтметров, допускаемые погрешности которых, как правило, выражены формулой

$$\delta_{on} = \pm [c + d(X_K / X - 1)], \quad (53)$$

допускаемую погрешность образцового цифрового вольтметра можно пересчитать в приведенную форму для каждой точки поверяемого прибора:

$$\gamma_{on} = \pm [d + (c - d)X / X_K], \quad (54)$$

где X_K — конечное значение поверяемого диапазона измерения прибора;

X — показание цифрового вольтметра;

c и d — числовые коэффициенты, значения которых устанавливаются в нормативной документации на конкретный цифровой вольтметр.

Необходимость решения этой задачи может возникнуть при проверке пригодности цифрового вольтметра или калибратора для использования в качестве рабочих эталонов (ОСИ) для поверки вольтметров с заданной достоверностью. При этом соотношение α_n допускаемых погрешностей рабочего эталона (ОСИ) и поверяемого прибора необходимо определить для начального и конечного значений диапазона измерения поверяемого прибора с учетом формы выражения допускаемой погрешности рабочего эталона.

Пример 1. Калибратором В1-9 поверяется вольтметр класса точности 0,2 типа Д574/2. Конечное значение напряжения поверяемого диапазона прибора $U_K = 75$ В. Проверить пригодность калибратора В1-9 для поверки. Решение:

Для рассматриваемого примера необходимо обеспечить соотношение $\alpha_n \leq 1/3$. Предел допускаемой относительной погрешности рабочего эталона В1-9 в диапазоне частот 60-400 Гц на поддиапазоне с конечным значением напряжения $U_{эК} = 100$ В определяется выражениями:

$$\begin{aligned}\delta_{\text{эп}} &= \pm [0,05 + (0,005U_{\text{эк}} + 0,005) / U_{\text{к}}] \% ; \\ \delta_{\text{эп}} &= \pm [0,05 + (0,005 \cdot 100 + 0,005) / 75] = \pm 0,06 \% ; \\ \delta_n &= + \gamma_n (X_N / X) = \pm 0,2(75 / 75) = \pm 0,2 \% ; \\ \alpha_n &= 0,06 / 0,2 = 0,3 < 1/3.\end{aligned}$$

В1-9 можно использовать для поверки вольтметра на данном диапазоне измерений.

Методы и средства определения основной погрешности приборов

При определении основной погрешности амперметров, вольтметров, ваттметров и варметров реализуются различные методы передачи размера единиц в соответствии с государственными поверочными схемами.

Выбор метода поверки в общем случае диктуется:

наличием рабочих эталонов (ОСИ), позволяющих реализовать выбранный метод поверки из числа методов, регламентированных методикой поверки; необходимостью уменьшения погрешности поверки за счет сведения к пренебрежимо малому значению одной из составляющих погрешности измерений при поверке — погрешности метода поверки;

возможностью обеспечения заданной достоверности поверки (соотношения α_n) при использовании данного метода.

ГОСТ 8.497-83 регламентирует четыре метода поверки амперметров, вольтметров, ваттметров и варметров:

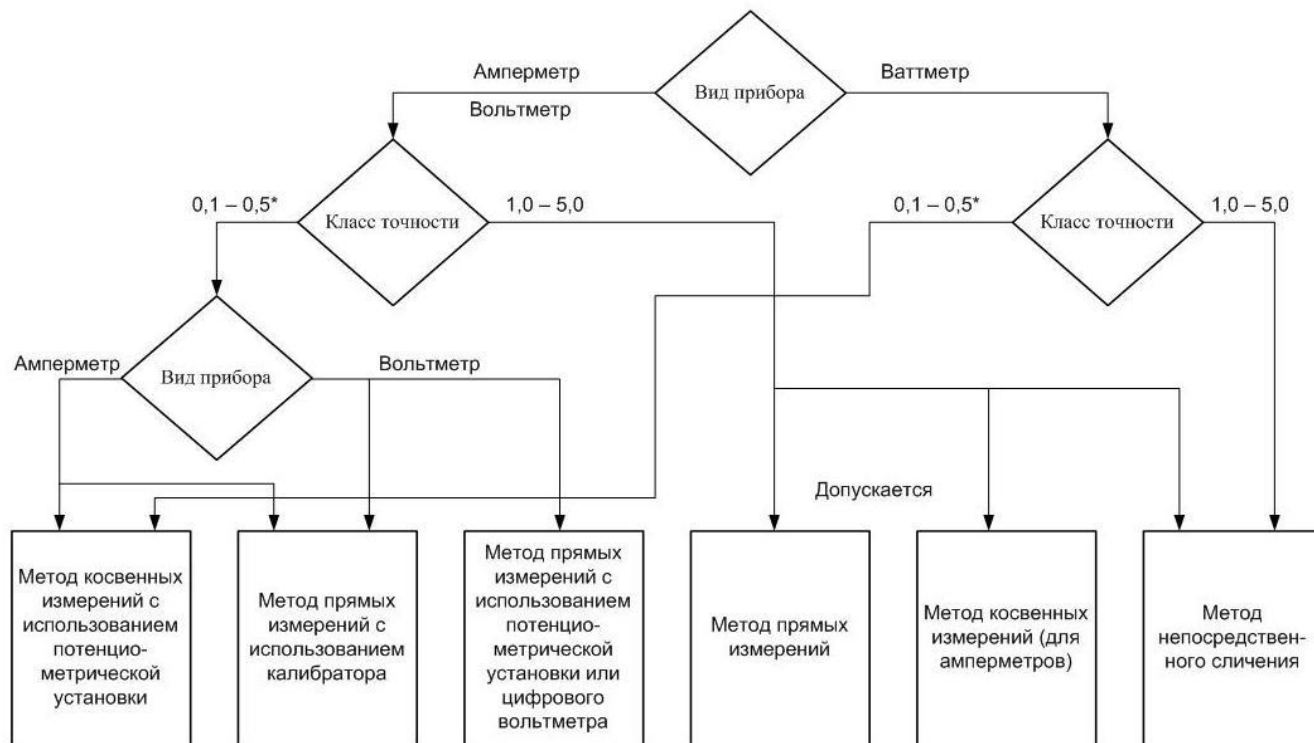
1. метод непосредственного сличения;
2. метод сличения при помощи компаратора;
3. метод прямого измерения;
4. метод косвенного измерения.

Методы поверки, устанавливаемые ГОСТ 8.497-83, в зависимости от класса точности прибора указаны на рис. 18 (для приборов постоянного тока) и на рис. 19 (для приборов переменного тока).

Разделение методов характеризует их влияние на определение действительного значения измеряемой величины.

Сравнительный анализ методов поверки с точки зрения точности и простоты технической реализации показывает, что наиболее простым является метод непосредственного сличения, при котором сличаются показания образцовых и поверяемых приборов. Однако точность этого метода ограничена точностью применяемых образцовых средств измерений. Поэтому методом непосредственного сличения могут поверяться амперметры, вольтметры и ваттметры на постоянном и переменном токе классов точности 0,5-5. Для поверки используются поверочные установки У300, У1134М и образцовые приборы классов точности 0,1-0,5 (рис.20).

Поверка на постоянном токе



* Амперметры, вольтметры, ваттметры класса точности 0,5 допускается поверять методом непосредственного сличения с приборами класса точности 0,2 (с введением поправок) или 0,1, а амперметры, вольтметры, ваттметры класса точности 0,5, аттестованные в качестве рабочих эталонов (ОСИ), допускается поверять методом непосредственного сличения только с приборами класса точности 0,1.

Поверка на переменном токе

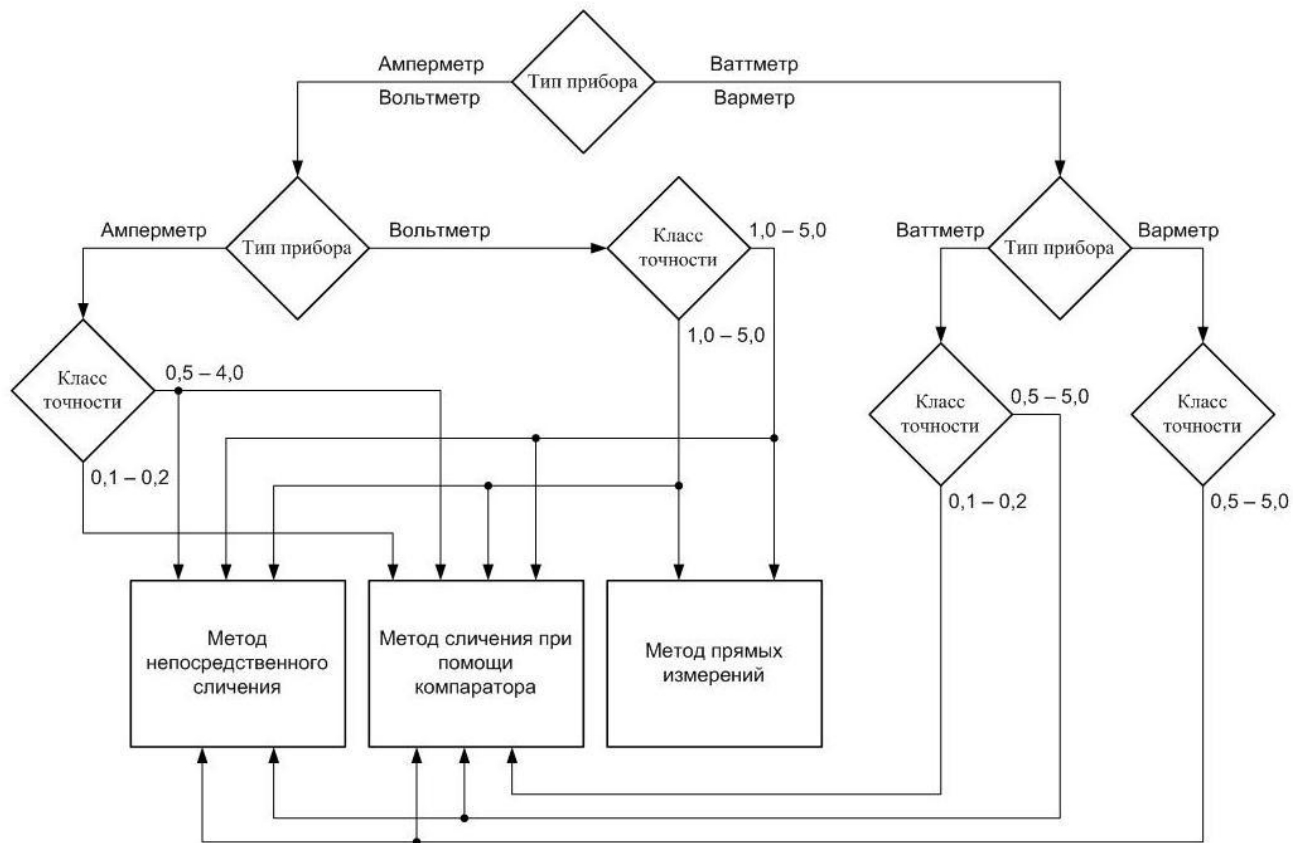


Рис. 19

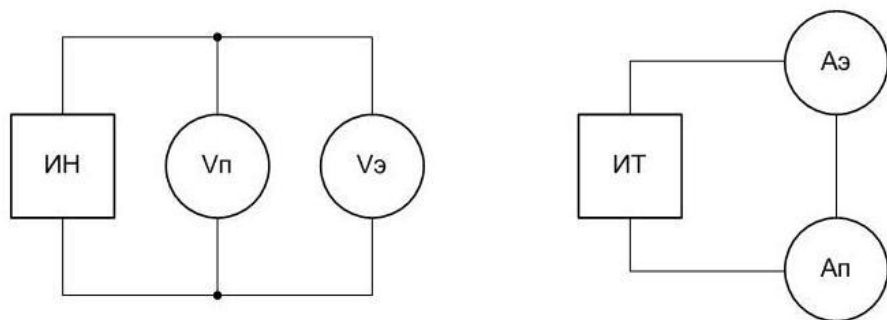


Рис. 20

При использовании этого метода абсолютная погрешность Δ поверяемого прибора определяется как разность показаний эталонного и поверяемого измерительных приборов:

$$\Delta = X_n - X_s, \quad (55)$$

где X_n — показание поверяемого прибора в единицах измеряемой величины;
 X_s — показание рабочего эталона в единицах измеряемой величины.

Для расчета основной приведенной погрешности поверяемого прибора следует воспользоваться формулой (50):

$$\gamma = \pm (\Delta / X_N) 100. \quad (56)$$

Определенные при поверке значения приведенной основной погрешности прибора γ на каждой из поверяемых отметок его шкалы не должны превышать предела допускаемого значения основной погрешности γ_n этого прибора, т.е. должны удовлетворять условию

$$\gamma \leq \gamma_n. \quad (57)$$

Учитывая, что число K , обозначающее класс точности амперметров, вольтметров, ваттметров и варметров, равно пределу допускаемого значения их основной приведенной погрешности γ_n , выраженной в процентах, можно, воспользовавшись формулой (50), рассчитать для каждой поверяемой точки прибора предел допускаемого значения его основной погрешности Δ_n в абсолютной форме:

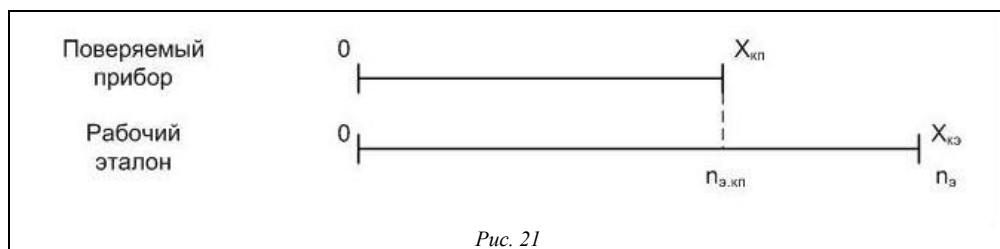
$$\Delta_n = \pm (KX_N) / 100. \quad (58)$$

В этом случае условием годности поверяемого прибора к дальнейшей эксплуатации в любой поверяемой отметке его шкалы будет неравенство

$$\Delta \leq \Delta_n. \quad (59)$$

При поверке приборов низкой точности — класса 1,0 и менее точных, когда, как правило, не требуется определения поправок к их показаниям, для упрощения процесса поверки все расчеты можно вести в делениях шкалы рабочего эталона (ОСИ). Для этого перед поверкой прибора рассчитывают его предел допускаемого значения основной абсолютной погрешности, выраженный в делениях шкалы рабочего эталона (ОСИ).

Этот расчет можно пояснить с помощью рис. 21, на котором в виде прямых линий представлены диапазоны измерений поверяемого прибора и рабочего эталона.



На рис. 21 обозначены:

$X_{кп}$ — конечное значение диапазона измерений поверяемого прибора, равное его нормирующему значению X_N ;

$X_{кэ}$ — конечное значение диапазона измерений рабочего эталона;

$n_э$ — число делений шкалы рабочего эталона, соответствующее конечному значению его диапазона измерений;

$n_{э,кп}$ — число делений шкалы рабочего эталона, соответствующее конечному значению диапазона измерений поверяемого прибора.

Согласно рис. 21 можно составить пропорцию:

$$X_{кэ} \rightarrow n_э$$

$$X_{кп} \rightarrow n_{э,кп}$$

На основании этой пропорции определим число делений $n_{э,кп}$ шкалы рабочего эталона, соответствующее конечному значению диапазона измерений поверяемого прибора:

$$n_{э,кп} = (n_э X_{кп}) / X_{кэ}. \quad (60)$$

По этой же формуле (60) можно рассчитать число делений $n_{э,н}$ шкалы рабочего эталона, соответствующее любому показанию X_n поверяемого прибора:

$$n_{э,н} = (n_{э} X_n) / X_{кэ}. \quad (61)$$

Далее, подставив в формулу (58) вместо нормирующего значения поверяемого прибора X_N равного $X_{кн}$, соответствующее ему число делений $n_{э,кн}$ шкалы рабочего эталона, окончательно получим выражение для расчета предела допускаемого значения основной абсолютной погрешности этого прибора, выраженного в делениях шкалы рабочего эталона (ОСИ):

$$\Delta_n = \pm (K \cdot n_{э,кн}) / 100. \quad (62)$$

Таким образом, при поверке устанавливают указатель поверяемого прибора на поверяемую отметку шкалы и следят, чтобы отклонение указателя рабочего эталона от соответствующей отметки не превышало допускаемого значения, рассчитанного по формуле (62).

Пример 2. Поверяемый вольтметр класса точности 4,0 имеет конечное значение диапазона измерений 50 В. В качестве рабочего эталона при поверке используется вольтметр класса точности 0,5, имеющий конечное значение диапазона измерений 75 В. Шкала этого прибора разбита на 150 делений. Определить предел допускаемого значения основной абсолютной погрешности поверяемого вольтметра, выраженный в делениях шкалы рабочего эталона (ОСИ).

Решение:

Вначале, воспользовавшись формулой (60), определим число делений $n_{э,кн}$ шкалы рабочего эталона, соответствующее конечному значению диапазона измерений поверяемого прибора: $n_{э,кн} = (n_{э} X_{кн}) / X_{кэ}$.

Подставив в формулу соответствующие значения входящих в нее величин, получим: $n_{э,кн} = (150 \cdot 50) / 75 = 100$ делений.

Теперь по формуле (62) можно рассчитать предел допускаемого значения основной абсолютной погрешности поверяемого вольтметра Δ_n , выраженный в делениях шкалы рабочего эталона (ОСИ): $\Delta_n = \pm (K \cdot n_{э,кн}) / 100$.

Подставив в формулу соответствующие значения входящих в нее величин, получим: $\Delta_n = \pm (4 \cdot 100) / 100 = \pm 4$ деления.

Таким образом, при поверке вольтметра отклонение указателя прибора, используемого в качестве рабочего эталона, от соответствующей отметки шкалы не должно превышать 4 делений.

Амперметры и вольтметры классов точности 0,1-0,5 поверяются на постоянном токе методом прямых измерений калибраторами типа ПЗ21,

ПЗ20 или при помощи поверочной установки У358 (рис. 22, а и б). Микроамперметры и милливольтметры классов точности 0,1-0,5 поверяют методом косвенных измерений на установке У358 (рис. 22, в и г).

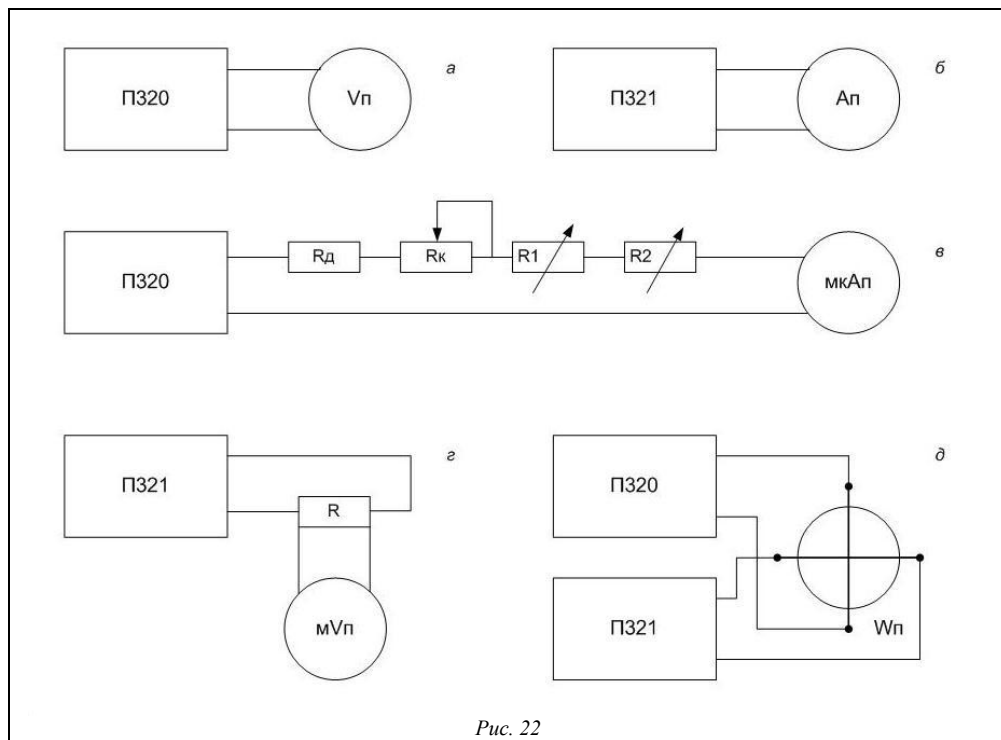


Рис. 22

Поверочная установка У358 (рис.23) построена на базе программируемых калибраторов постоянного тока ПЗ21 и напряжения постоянного тока ПЗ20. Универсальные калибраторы имеют в своем составе шестизрядные масштабные преобразователи, управляющие выходными значениями тока или напряжения. Они обеспечивают на выходе калибраторов действительные значения тока или напряжения, соответствующие поверяемым отметкам, с дискретностью $I_k \cdot 10^{-6}$ и $U_k \cdot 10^{-6}$, где I_k , U_k — калиброванные значения тока и напряжения.

Блок управления установки представляет собой логико-арифметическое устройство, основой схемы которого является арифметический процессор. Информация в арифметический процессор поступает от блока клавиатуры, рычажных и кнопочных переключателей через шифраторы (шифратор клавиатуры, шифратор поправки и класса, шифратор поверяемой отметки) и устройство ввода.

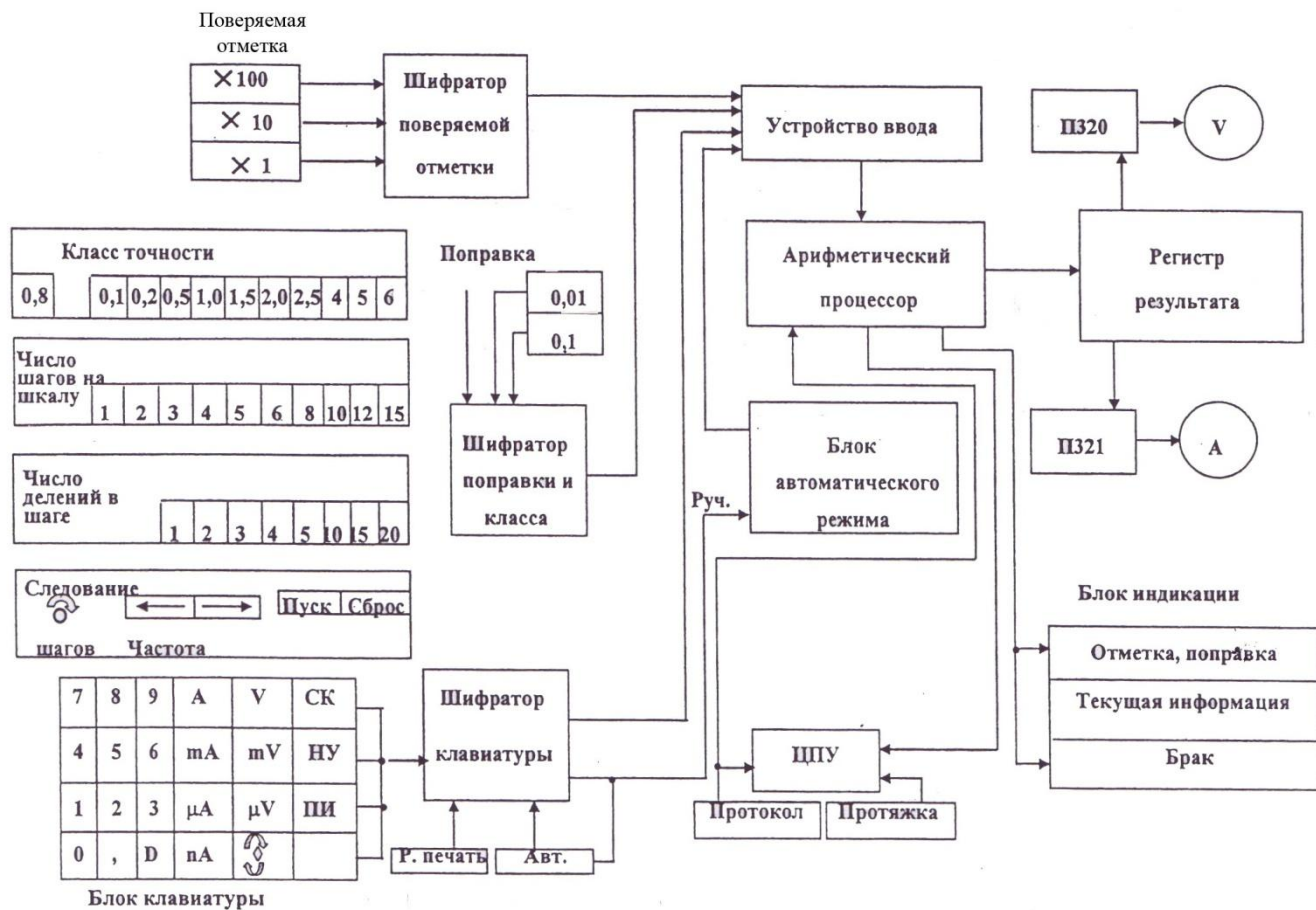


Рис. 23

Блок управления в соответствии с введенной информацией обеспечивает автоматическое выполнение следующих операций:

подключение к информационной магистрали нужного калибратора;

расчет и подачу на калибратор управляющего кода в соответствии с конечным значением диапазона измерений поверяемого прибора X_N , числом делений шкалы N и номером поверяемой отметки i . Процессор вычисляет цену деления поверяемого прибора:

$$c = X_N / N \quad (63)$$

и умножает цену деления на номер поверяемой отметки c_i ;

расчет и подачу на калибратор управляющего кода в соответствии со знаком и значением поправки V_i к показаниям поверяемого прибора. При каждом переключении переключателя У358 «поправка» процессор вычисляет новое значение величины $(i + V_i)c$;

внесение в протокол поверки с помощью цифропечатающего устройства (ЦПУ) номера поверяемой отметки, знака и значения поправки в долях деления шкалы поверяемого прибора и значения выхода за допуск отношения полученной поправки V_i и предела допускаемой абсолютной погрешности поверяемого прибора Δ_n . Модуль значения выхода за допуск δ_I не должен превышать единицы:

$$|\delta_I| = |V_i / N\gamma_n / 100| \leq 1. \quad (64)$$

Кроме того, на световом табло установки индицируются вводимая информация и результаты поверки, подается световой сигнал о несоответствии погрешности поверяемого прибора допускаемому значению его погрешности, автоматически переключается номер поверяемой отметки.

Предел допускаемой основной погрешности калибратора напряжения постоянного тока П320 в диапазоне калиброванных значений напряжений 1-600 В составляет 0,004-0,005 %. Калибратор постоянного тока П321 имеет погрешность 0,03 % в диапазоне калиброванных значений токов от 1 до 10 А.

При поверке милливольтметров с диапазоном измерений 0,1-10 мВ методом косвенных измерений (рис.22, г) используют калибратор тока П321 и встроенную в установку катушку сопротивлений класса точности 0,01 с номинальным значением сопротивления $R_n = 0,001$ Ом.

При поверке микроамперметров с диапазоном измерений 0,1—100 мкА методом косвенных измерений (рис. 22, в) используют калибратор напряжения постоянного тока П320 с последовательно включенной цепочкой добавочных сопротивлений. Суммарное значение сопротивления этой цепочки R_Σ должно быть равно 1 МОм:

$$R_{\Sigma} = R_{\theta} + R_{\kappa} + R_{\mu A} + R_I + R_2. \quad (65)$$

Предел допускаемой относительной погрешности этого сопротивления составляет $\delta_n = \pm 0,01 \%$.

Ваттметры классов точности 0,1-0,5 поверяются с отдельным питанием цепей тока от калибратора П321 и напряжения от калибратора П320 (рис. 22, д).

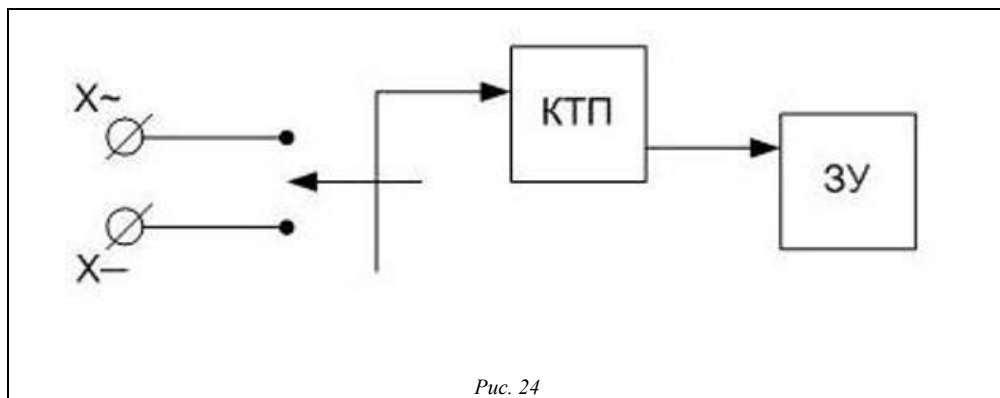
Кроме перечисленных средств поверки, выпускаемых промышленностью, для поверки амперметров, вольтметров и ваттметров классов точности 0,1-0,5 на постоянном токе используют имеющуюся в обращении потенциометрическую поверочную установку У355.

На переменном токе амперметры, вольтметры и ваттметры классов точности 1,0-5,0 поверяются методом непосредственного сличения с образцовыми приборами классов точности 0,2-0,5 на поверочных установках У300, У1134М (рис. 20).

Амперметры классов точности 0,1-0,2 на переменном токе поверяют методом сличения при помощи термокомпаратора. Амперметры класса точности 0,5 допускаются проверять методом непосредственного сличения с показаниями образцовых амперметров класса точности 0,1.

Вольтметры классов точности 0,1-0,5 на переменном токе поверяют цифровыми вольтметрами типа Ф4830 методом непосредственного сличения, калибраторами напряжения переменного тока типа В1-9, В1-20, В1-21, В1-28 методом прямого измерения и методом сличения при помощи термокомпаратора на универсальной полуавтоматической поверочной установке УППУ-1М.

Структурная схема установки построена по принципу термокомпарирования (рис. 24).



В схему установки входит компарирующий термопреобразователь (КТП), позволяющий сравнивать действующее значение переменного тока

(напряжения) с эквивалентным ему по тепловому воздействию постоянным током (напряжением), которые могут быть измерены с высокой точностью. Термопреобразователь состоит из нагревателя и подогреваемой им термопары. Температура нагревателя определяется мощностью, создаваемой протекающим по нагревателю током. Поэтому, если по нагревателю пропустить сначала переменный ток (возникшую термоэдс запомнит запоминающее устройство ЗУ), а затем постоянный ток, то при одной и той же температуре нагревателя действующее значение переменного тока можно заменить эквивалентным ему по тепловому воздействию постоянным током. Равенство тепловых эффектов фиксируется одинаковым значением термоэдс e_t на выходе термопары (ТП):

$$e_t = KX_i, \quad (66)$$

где X_i — измеряемая величина;

K — коэффициент преобразования ТП.

Поверочная установка УППУ-1М представляет собой автоматический термоэлектрический компаратор, составной частью которого является ТП. Измеряемая величина, соответствующая поверяемой отметке прибора, сравнивается с эталонной величиной, воспроизводимой калибратором образцовых напряжений (КОН), входящим в источник образцовых сигналов (ИОС) установки. Сравнение осуществляется методом сличения при помощи компаратора. Реализуемый метод неполного замещения предусматривает поочередную подачу на вход ТП измеряемой величины переменного тока (напряжения) и эталонной величины (напряжения постоянного тока).

Установка предназначена для поверки амперметров с диапазонами измерений 10^{-4} - 10 А, вольтметров с диапазонами измерений 10^{-3} - 750 В и ваттметров с диапазоном измерений по току 10^{-2} - 10 А, по напряжению 10^{-2} - 750 В при $\cos \varphi = 1$ в диапазоне частот 40-20000 Гц. Погрешность измерения на установке при поверке амперметров 0,03-0,05 %, при поверке вольтметров 0,03-0,04 % и при поверке ваттметров 0,04-0,08 %. Структурная схема установки (рис. 25) состоит из трех частей:

1. энергетической (на основе звукового генератора ГЗ-107);
2. измерительно-вычислительной;
3. регистрирующей.

На рис. 25 приняты следующие условные обозначения:

Г — генератор;

ФР — фазорегулятор;

ПУН и ПУТ — пульты управления напряжением и током соответственно;

УМН и УМТ — усилители мощности для каналов напряжения и тока соответственно;

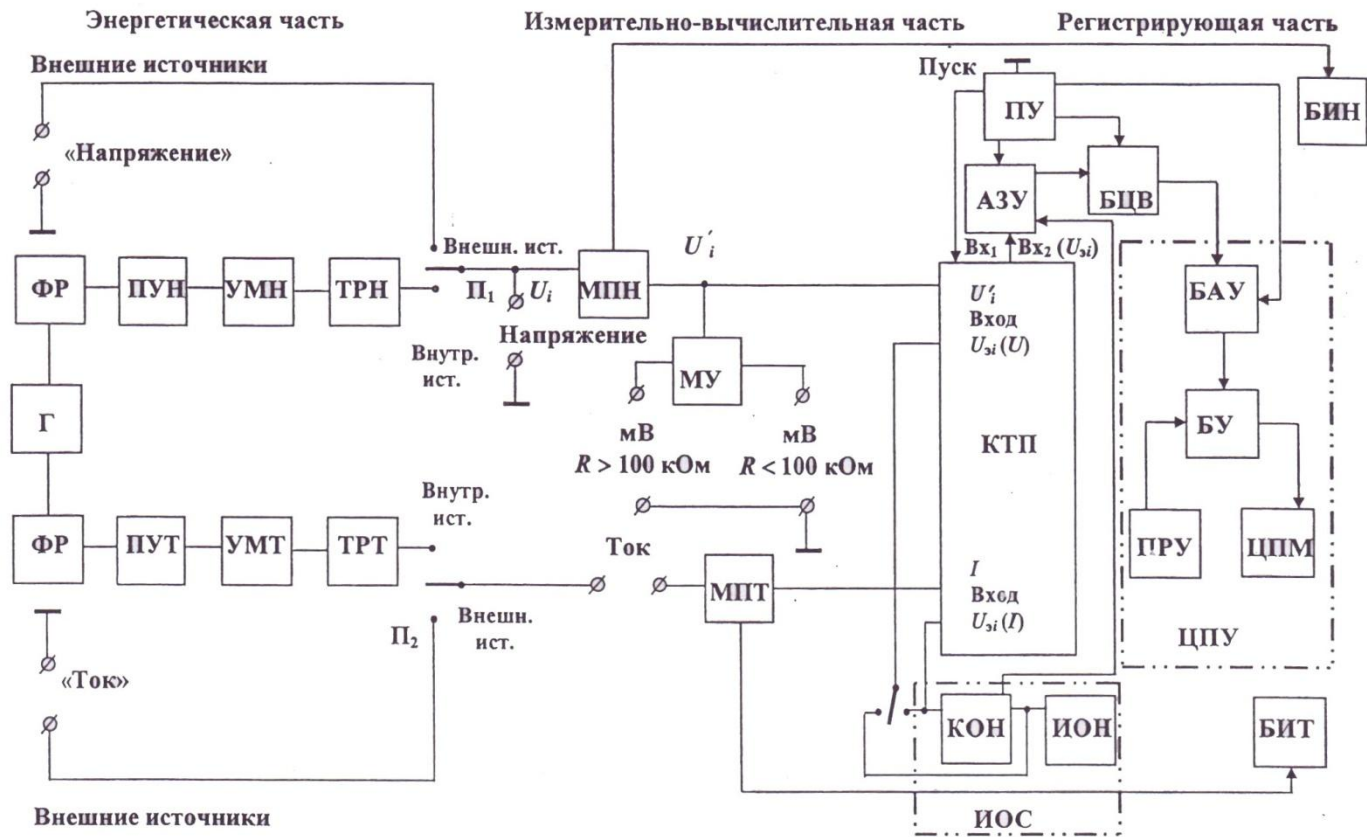


Рис. 25

ТРН и ТРТ — трансформаторы напряжения и тока соответственно;
 МПН и МПТ — масштабные преобразователи напряжения и тока;
 МУ — масштабный усилитель;
 КТП — компарирующий термопреобразователь;
 АЗУ — аналоговое запоминающее устройство;
 ИОС — источник образцовых сигналов;
 КОН — калибратор образцового напряжения;
 ИОН — источник опорного напряжения;
 БИН и БИТ — блоки индикации напряжения и тока соответственно;
 ПУ — программное устройство;
 БЦВ — блок цифрового вольтметра;
 БАУ — блок автоматического управления;
 БУ — блок усилителей;
 ЦГТМ — цифропечатающая машина;
 ПРУ — пульт ручного управления.

Измерительно-вычислительная часть установки предназначена для преобразования входных сигналов масштабными преобразователями МП, сравнения входных и образцовых сигналов, выделения их разности, пропорциональной погрешности поверяемого прибора, и преобразования этой разности в цифровой код. В качестве масштабных преобразователей напряжения (МПН) служат делители напряжения, а масштабные преобразователи тока (МПТ) — комплект съемных шунтов.

Масштабные преобразователи установки УППУ-1М построены так, что любому конечному значению диапазона измерения поверяемого прибора X_N на выходе МП соответствует напряжение 1 В, т.е. коэффициент масштабного преобразования M определяется на основании выражения

$$M = X_{\text{вых}} / X_{\text{вх}} = 1 / X_N, \quad (67)$$

где $X_{\text{вх}}$ и $X_{\text{вых}}$ — входная и выходная величина масштабного преобразователя.

Эталонные напряжения, соответствующие поверяемым отметкам, формируются калибратором образцовых напряжений (КОН). В зависимости от количества поверяемых отметок КОН формирует 10, 15, 25 или 30 равноотстоящих друг от друга значений эталонного напряжения в интервале от 0 до 1 В.

Действительное значение величины U_{di} , соответствующей поверяемой отметке на входе МП, представляет собой алгебраическую сумму:

$$U_{di} = U_i \pm \Delta_I, \quad (68)$$

где U_i — напряжение, соответствующее поверяемой отметке, В;

Δ_i — абсолютная погрешность поверяемого прибора, В.

На вход КТП с выхода МПН поступает напряжение $U'_{\partial i}$, преобразованное МЛН (рис. 25):

$$U'_{\partial i} = M(U_i \pm \Delta_i). \quad (69)$$

$U_{\text{вых}} = I \text{ В}$; $M = I / X_N = 1 / U_N$, где U_N — конечное значение диапазона измерения напряжения поверяемого прибора.

С выхода КТП на первый вход (Вх1) аналогового запоминающего устройства (АЗУ) поступает постоянное напряжение U_1 .

$$U_1 = KU'_{\partial i}, \quad (70)$$

где K — коэффициент преобразования КТП.

Одновременно на второй вход (Вх2) АЗУ поступает с калибратора образцовых напряжений эталонное напряжение $U_{\partial i}$, пропорциональное значению поверяемой отметки:

$$U_{\partial i} = U_i / U_N. \quad (71)$$

В сумматоре АЗУ образуется разность ΔU_1 :

$$\Delta U_1 = U_1 - U_{\partial i} = K(U_i / U_N) \pm K(\Delta_i / U_N) - (U_i / U_N). \quad (72)$$

Эта разность запоминается АЗУ. Через три секунды на первый вход сумматора АЗУ с выхода КТП поступает эталонный сигнал U_2 :

$$U_2 = KU_{\partial i}, \quad (73)$$

В сумматоре образуется разность ΔU_2 :

$$\Delta U_2 = U_2 - U_{\partial i} = KU_{\partial i} - U_{\partial i}. \quad (74)$$

Эта разность вычитается из хранящейся в памяти разности ΔU_1 :

$$\Delta U_1 - \Delta U_2 = U_1 - U_{\partial i} - U_2 + U_{\partial i} = U_1 - U_2 = \pm K(\Delta_i / U_N) = \pm \gamma_i. \quad (75)$$

Таким образом, абсолютная погрешность поверяемого прибора на входе МПН преобразовалась на выходе АЗУ в численно равную ей приведенную погрешность γ_i . Эта погрешность измеряется в БЦВ аналого-цифровым преобразователем с цифровым вольтметром Ф2002 класса точности 0,2/0.1. Результат измерения поступает в регистрирующую часть установки, которая предназначена для автоматической регистрации номера поверяемой от-

метки, знака и значения приведенной погрешности в процентах и визуального наблюдения информации. Цифропечатающее устройство (ЦПУ) может печатать результат поверки с помощью ЦПМ красным или черным цветом.

Оформление результатов поверки

Результаты поверки приборов классов точности 0,05-0,5 на автоматизированных поверочных установках (УЗ58, УППУ-1М) с регистрацией погрешности приборов на ЦПУ представляются в форме, указанной в ТД на установку. Если поверка этих приборов производилась при помощи других средств поверки, не снабженных ЦПУ, то ее результаты заносят в рекомендуемый ГОСТ 8.497-83 протокол (приложение 1). Результаты поверки переносных приборов класса точности 1,0-5,0 оформляют протоколом произвольной формы. В качестве примера форма такого протокола показана в приложении 2. При этом в процессе поверки все расчеты можно вести либо в единицах измеряемой величины, либо в делениях шкалы рабочего эталона (ОСИ). В последнем случае показания поверяемого прибора пересчитывают в деления шкалы рабочего эталона по формуле (61) и заносят в протокол.

Иногда в комплект поверочной установки УЗ58 не входит ЦПУ, тогда протокол поверки оформляется вручную на основании данных цифровых индикаторов блока управления поверочной установки, например в форме, представленной в приложении 3.

В табл. 3 приведены технические и метрологические характеристики некоторых типов рассмотренной в учебном пособии группы приборов.

Технические и метрологические характеристики некоторых типов приборов

Таблица 3

Наименование прибора	Тип прибора	Род тока	Конечные значения диапазонов измерений	Класс точности	Нормальное значение частоты (нормальная область значений частоты), Гц	Числовые отметки шкалы	Длина шкалы, мм	Остаточное отклонение указателя от нулевой отметки не более, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Приборы магнитоэлектрической системы								
Амперметр	M4231	Пост.	5 А	4	-	0-1-2-3-4-5	26	1,0
Вольтметр	M4258	Пост.	50 В	2,5	-	0-10-20-30-40-50	69	1,7
Приборы электромагнитной системы								
Амперметр	Э335	Перем.	50 А	1,5	50	0-10-20-30-40-50	160	2,4
Вольтметр	Э421	Перем.	450 В	2,5	400	0-100-200-400-450	55	1,4
Приборы электродинамической системы								
Амперметр	Д5014/1	Пост. Перем.	5; 10 А	0,2	45...500	0-20-30-40... 100	300	0,6
Вольтметр	Д5015/1	Пост. Перем.	7,5; 15; 30; 60 В	0,2	45...1000	0-30-40... 100-107 107-110-120...150	300	0,6
Ваттметр	Д5016/1	Пост. Перем.	*	0,2	45...500	0-30-40... 100-107 107-110-120...150	300	0,6
Приборы ферродинамической системы								
Амперметр	Д180	Перем.	20 А	1,5	400...500	0-5-10-15-20	180	2,7
Вольтметр	Д121	Перем.	150; 250 В	0,5	50	0-60-80-100-120-130... 150 0-80-120-160-180... 240-250	125 115	0,6 0,6
Варметр	Д335/1	Перем.	4 квар	1,5	50	0-1-2-3-4	160	2,4
Приборы электростатической системы								
Вольтметр	С75	Пост. Перем.	300 В	1,5	20-80 Гц 130 Гц-3 МГц	0-10-15-20-25-30	65	0,5
Вольтметр	С55	Пост. Перем.	50 В	0,5	20 Гц-0,75 МГц	10-15-20... 50	165	0,8

* Конечные значения P_k диапазонов измерений ваттметра Д5016/1 составляют:

Номинальный ток, А	Р _к при номинальном значении напряжения					
	30 В	75 В	150 В	300 В	450 В	600 В
5	150	375	750	1500	2250	3000
10	300	750	1500	3000	4500	6000

ФОРМА ПРОТОКОЛА ПОВЕРКИ

ПРОТОКОЛ №

Поверки _____ типа _____ № _____
наименование прибора

принадлежащего _____
организация-владелец

Изготовитель	Род тока	Система прибора	Класс точности прибора	Пределы измерений

Средства поверки: _____

Условия поверки:
температура _____ °С; влажность _____ %; давление _____ кПа
Предварительный прогрев прибора _____ мин

Результаты поверки:

[illegible]

*В единицах измеряемой величины.

Вариация показаний прибора не превышает _____.
Остаточное отклонение указателя прибора от нулевой отметки шкалы составляет _____.

Заключение		Наименование организации, проводившей поверку
годен, не годен		

Поверку провел _____
подпись

_____ Фамилия, имя, отчество

ФОРМА ПРОТОКОЛА ПОВЕРКИ
(для приборов класса точности 1,0—5,0)

ПРОТОКОЛ № _____

поверки _____ типа _____ № _____
наименование прибора

принадлежащего _____
организация-владелец

Изготовитель	Род тока	Система прибора	Класс точности прибора	Пределы измерений

Средства поверки: _____

Условия поверки:

Температура _____ °C; влажность _____ %; давление _____ кПа.

Предварительный прогрев прибора _____ мин

Результаты поверки:

Поверяемый прибор			Образцовый прибор				Поверяемый прибор					
Отсчет по шкале, в делениях	Показания		↑ Отсчет вверх по шкале	↓ Отсчет вниз по шкале		Основная погрешность				Вариация показаний		
	В единицах измеримой величины	В делениях рабочего эталона				В единицах измеримой величины	В делениях рабочего эталона	Вверх по шкале		Вниз по шкале		$b = \frac{ \Delta \uparrow - \Delta \downarrow }{2}$
			$\Delta \uparrow$	$\gamma\%$	$\Delta \downarrow$			$\gamma\%$				

Вариация показаний прибора не превышает _____

Остаточное отклонение указателя прибора от нулевой отметки шкалы составляет _____

Заключение _____
годен, не годен

Наименование организации, проводившей поверку _____

Поверку провел _____
Подпись

Фамилия, имя, отчество

ФОРМА ПРОТОКОЛА ПОВЕРКИ (при поверке на установке У358 без ЦПУ)**ПРОТОКОЛ № _____**Поверки _____ типа _____ № _____
наименование приборапринадлежащего _____
организация-владелец

Изготовитель	Род тока	Система прибора	Класс точности прибора	Пределы измерений

Средства поверки: _____
_____Условия поверки:
температура _____ °С; влажность _____ %; давление _____ кПа.
Предварительный прогрев прибора _____ мин

Результаты поверки:

Порядковый номер поверяемой отметки i	Поправка ∇i в делениях		Выход за допуск $\delta i = \nabla i / \Delta p$		Вариация показаний в делениях
	↑ вверх по шкале $\nabla \uparrow i$	↓ вниз по шкале $\nabla \downarrow i$	↑ вверх по шкале $\delta \uparrow$	↓ вниз по шкале $\delta \downarrow$	$b_i = \nabla \uparrow i - \nabla \downarrow i $
Поверяемый предел _____ (в единицах измеряемой величины) Δp			_____ (в делениях)		

Вариация показаний прибора не превышает _____.

Остаточное отклонение указателя прибора от нулевой отметки шкалы составляет _____

Закключение _____
годен, не годен Наименование организации, проводившей поверкуПоверку провел _____
подпись Фамилия, имя, отчество

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Любимов Л.И., Форсилова И.Д., Шапиро Е.З. Поверка средств электрических измерений: Справочная книга. Изд. 2-е. — Л.: Энергоатомиздат, 1987.
- Малиновский В.Н., Демидова-Панферова Р.М. и др. Электрические измерения. — М.: Энергоатомиздат, 1985.
- Белоусов Ю.М., Романова Л.А., Усеинов А.Р. Поверка и калибровка средств электрических измерений. Приборы прямого действия: Учеб. пособие. — М.: АСМС, 1999.
- ГОСТ 30012.1-93. МГС. Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 1. Определения и основные требования, общие для всех частей.
- ГОСТ 8476-93. МГС. Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 3. Особые требования к ваттметрам и варметрам.
- ГОСТ 8711-93. МГС. Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 2. Особые требования к амперметрам и вольтметрам.
- ГОСТ 8.497-83. ГСИ. Амперметры, вольтметры, ваттметры, варметры. Методика поверки.