

Токовые клещи и переносные мультиметры

Настоящий обзор посвящен наиболее распространенным электроизмерительным приборам, без которых не обходится ни одно предприятие. Эти приборы — переносные мультиметры. Также рассмотрены и токовые клещи, поскольку сейчас большая часть из них представляет собой мультиметры с датчиками тока той или иной конструкции, и невозможно рассматривать эти группы приборов отдельно.

Валерий Авербух

206vniims@vniiofi.ru

1. Конструкции магнитопроводов устройств для бесконтактного измерения силы тока без разрыва цепи

Токовые клещи для бесконтактного измерения силы тока без разрыва измеряемой цепи представляют собой магнитопровод, замыкаемый вокруг проводника с измеряемым током, играющим роль первичной обмотки.

Для измерения силы только переменного тока выходной сигнал снимается со вторичной обмотки, наложенной на этот сердечник. Погрешность преобразования таких трансформаторов обычно составляет порядка $\pm 0,5...2\%$ и в той или иной мере зависит от расположения токовой шины относительно магнитопровода. Это существенно хуже, чем у трансформаторов тока с неразъемным сердечником, где достигается погрешность $0,1\%$. Однако удобство работы во многих случаях перевешивает этот недостаток. Нижняя граница полосы пропускания таких устройств обычно нормируется от 10 до 30 Гц, верхняя — от 65 Гц до $0,5...5$ кГц, в некоторых случаях достигая 100 кГц (модель S160 французской компании Chauvin-Arnoux).

Кроме конструкции, описанной выше, для измерения силы только переменного тока без разрыва цепи применяются и другие устройства. Некоторое распространение получила конструкция с магнитопроводом в виде одеваемой на шину жесткой незамкнутой вилки. Она проще, но дает значительную погрешность и зависимость от положения токовой шины. Например, модель A7 фирмы APPA имеет погрешность $\pm(30\% + 3 \text{ ед. отсчета})$.

Для работы с шинами большого размера и сложной формы используется так называемый «пояс Роговского». Он представляет собой гибкую цилиндрическую вторичную обмотку, намотанную на немагнитном сердечнике (шнуре) и замыкаемую

вокруг играющей роль первичной обмотки шины с током (серии AmpFlex A100 и AmpFlex A101 компании Chauvin-Arnoux, серия CP-Flex испанской компании Circutor). Погрешности и полоса пропускания «пояса Роговского» одного порядка с погрешностями, которые дают стандартные клещи переменного тока. Преимуществом его является высокая линейность, определяемая отсутствием магнитного сердечника, недостатком — чувствительность, существенно меньшая, чем у токовых клещей стандартной конструкции. Поэтому в комплект поставки таких устройств может входить усилитель, как, например, у AmpFlex A100.

Если необходимо измерять силу как постоянного, так и переменного тока, в зазорах магнитопровода клещей размещают датчики Холла, преобразующие магнитное поле в напряжение. При протекании тока по силовой шине, охватываемой магнитопроводом, датчики Холла вырабатывают напряжение, пропорциональное силе измеряемого тока. Погрешности таких клещей несколько больше, чем у клещей переменного тока трансформаторного типа — обычно $\pm 1...3\%$. Нижняя граница полосы пропускания — постоянный ток, значения верхней границы ниже, чем у клещей переменного тока трансформаторного типа — обычно $2...10$ кГц.

2. Выполняемые функции, схемотехника и конструкции переносных мультиметров

В состав любого мультиметра входят измерительная схема, устройство индикации (дисплей) и узел питания, роль которого обычно выполняет батарея гальванических элементов или аккумулятор. Большинство современных мультиметров имеют устройства для реализации дополнительных сервисных функций, облегчающих процесс измерения.

В течение многих лет самыми распространенными электроизмерительными приборами были переносные мультиметры без усилительных элементов и сервисных функций, использующие индикацию и измерительную схему на основе микроамперметров постоянного тока. Такие приборы измеряли напряжения и силу постоянного и переменного тока (средне-выпрямленное значение), а также сопротивление по постоянному току. Главные преимущества — дешевизна и отсутствие необходимости в питании при измерении напряжения и силы тока. Недостатки: большие погрешности измерения, низкая чувствительность, нелинейность шкалы при измерениях переменного напряжения, переменного тока и сопротивления.

Необходимость получения приемлемой устойчивости к механическим сотрясениям определяла использование микроамперметров с током полного отклонения 25...100 мкА. Подвеска подвижной части их выполнялась на игольчатых подшипниках. В результате сухого трения в них имеет место гистерезис, то есть показания зависят от того, с какой стороны стрелка подходит к установившемуся значению. Погрешность таких микроамперметров лежит обычно в пределах 2...3 % полной шкалы, и ниже опуститься практически невозможно.

Дополнительным источником погрешности при измерении на переменном токе является нелинейность за счет падения напряжения на открытых диодах детектора (для кремния — около 0,6 В). Эти погрешности значительны при напряжениях, сравнимых с этим значением, и снижаются с увеличением измеряемого напряжения. Верхняя граница полосы пропускания таких мультиметров на переменном токе обычно лежит в пределах от 0,5 до 10 кГц.

Схема, используемая при измерении сопротивлений, приводит к гиперболической зависимости показаний от измеряемого сопротивления, существенно увеличивающей погрешность. Так, если погрешность по постоянному току составляет 2,5 % полной шкалы, при измерении сопротивления, соответствующего четверти шкалы, погрешность составляет около 10 %, середине — 5 %, трем четвертям — 10 %, 90%–25 %. Это приемлемо далеко не всегда.

Удобство аналоговой индикации для быстрого считывания результатов, особенно в случаях плохой видимости или плохого зрения оператора, так же, как и дешевизна, определяют устойчивое сохранение на рынке некоторого количества таких мультиметров, несмотря на их недостатки.

Введение в измерительные схемы мультиметров активных элементов — транзисторов и аналоговых интегральных схем (чаще всего — операционных усилителей) — позволило поднять чувствительность, использовать более прочные механически микроамперметры меньшей чувствительности, линеаризовать шкалы переменного напряжения, переменного тока и сопротивления. Выпрямление переменного напряжения обычно выполняется схемами на операционных усилителях с диодами в цепи обрат-

ной связи, обеспечивающими высокую линейность. Если такие схемы работают на микроамперметре, и постоянные времени фильтров детектора невелики, то измеряется **среднее** значение, при значительных постоянных времени измеряется **пиковое** значение переменного напряжения, а дисплей показывает эффективное значение, пересчитанное для синусоидального сигнала (модель Protek 5050 фирмы Hung Chang). Измерение сопротивления производится схемой с источником тока, обеспечивающей хорошую точность, линейность и существенно расширяющей диапазон измерения. Например, в вышеупомянутом мультиметре Protek 5050 максимально измеряемое сопротивление — 1000 МОм. Наличие внутреннего источника питания позволяет добавлением несложных аналоговых схем получить функции измерения емкости, частоты, температуры, тестирования диодов, транзисторов, а также проверки целостности цепей с контролем при помощи звуковой индикации. Сервисные функции в таких приборах отсутствуют.

Широкое распространение получили приборы, основным элементом измерительной схемы которых является однокристалльный вольтметр интегрирующего типа, управляющий жидкокристаллическим дисплеем. Обычно такие микросхемы имеют разрешение 3 1/2, 3 3/4 и 4 1/2 десятичных разряда, то есть максимальные показания дисплеев составляют 1999, 3999 и 19 999 соответственно. Ряд таких микросхем имеют сервисную функцию остановки измерения с запоминанием последнего значения. Так построено большинство имеющихся на рынке недорогих приборов, в частности производимых в Юго-Восточной Азии. Приборы устойчивы к сотрясениям, прочность их определяется практически только корпусом.

Выпрямление переменного напряжения обычно выполняется схемами типа «идеального диода» с операционными усилителями, обеспечивающими высокую линейность, причем измеряется пиковое значение переменного напряжения, а дисплей показывает эффективное значение, вычисленное для сигнала синусоидальной формы. Измерение сопротивления производится схемой с источником тока, обеспечивающей хорошую линейность и точность. Погрешности измерения постоянного и переменного напряжения, а также сопротивления обычно порядка 0,5...3 %, силы тока несколько выше — 2...3 %. Многие из таких мультиметров измеряют также емкость, иногда — температуру, частоту и имеют режим прозвонки цепей.

Аналоговая индикация удобнее для быстрого считывания, цифровая — для считывания точных значений результатов измерения. Чтобы совместить преимущества цифровой и аналоговой индикации, некоторые приборы имеют и жидкокристаллический дисплей, и микроамперметр. Так, например, выполнена модель С. А 5011 компании Chauvin-Arnoux. Другой вариант сохранения в цифровых мультиметрах преимуществ аналоговой индикации — введение на дисплей дополнительной строки или дуги аналоговой индикации. Такая имитация микро-

амперметра получила широкое распространение.

Как упоминалось выше, при использовании детекторов типа идеального диода с операционными усилителями, в зависимости от соотношения частоты сигнала и постоянной времени фильтра после детектора, получают среднее или пиковое значение переменного напряжения на его входе. Это делает точность прибора зависимой от формы (или искажения) сигнала. Для получения не пересчитанного, а реального **действующего** значения переменного напряжения применяют микросхемы детекторов истинного среднеквадратичного значения (True RMS). При этом зависимость показаний от формы сигнала значительно уменьшается. Кроме того, появляется возможность измерять эффективное значение суммы переменного и постоянного напряжений. Количество мультиметров с такими детекторами неуклонно растет. Детекторы истинного среднеквадратичного значения могут иметь очень широкую полосу пропускания. Например, микросхема типа AD834 производства Analog Devices работает до частоты 500 МГц. Однако из соображений экономии энергии питающих батарей в переносных мультиметрах обычно используются микросхемы с полосой 20 кГц, а зачастую и гораздо ниже. Погрешность измерения при этом обычно составляет 2 %. В лучших моделях удается довести погрешность до 0,2 % и полосу до 100 кГц (модель 8060A фирмы Fluke).

Появление недорогих микропроцессоров с малым потреблением энергии существенно расширило возможности переносных мультиметров, особенно это касается набора реализуемых функций. Появились автоматическая калибровка и выбор диапазона. Стало возможным запоминать максимальные, минимальные и средние значения за время измерений, накапливать результаты измерений, проводить измерения через заданный интервал времени.

Появились мультиметры, позволяющие измерять активную, реактивную и кажущуюся мощность, фазовый сдвиг, коэффициент нелинейных искажений, отношение пикового и эффективного значений и амплитуду каждой из гармоник. Дисплеи стали многострочными и получили возможность отображать одновременно несколько величин, например, ток, частоту и коэффициент нелинейных искажений.

По точности новые мультиметры приблизились к стационарным приборам. В ряде случаев для выполнения всех функций переносного мультиметра приходится использовать более одного микропроцессора, например, в модели F27 компании Chauvin-Arnoux.

Нередко в ходе производства работ по наладке и обслуживанию промышленных установок необходимо вести запись изменения параметров с последующей их обработкой. Для этой цели используются временные системы сбора и обработки информации, обычно состоящие из мультиметра с последовательным интерфейсом и портативного компьютера. Для выполнения этой задачи в ряд моделей переносных мультиметров введен последовательный интерфейс, превращающий их в уст-

ройство связи системы с объектом измерения. Чаще всего используется интерфейс стандарта RS-232, наиболее распространенного в настоящее время.

Для того чтобы быть уверенным в результатах измерения, желательно увидеть форму измеряемого сигнала, убедиться в отсутствии неприемлемых искажений и помех. Поэтому, когда возможно, параллельно измерительному прибору включают осциллограф. С этой целью в некоторые переносные мультиметры встроены миниатюрный цифровой осциллограф. Причем подобные решения сегодня по силам не только таким лидерам мирового приборостроения, как Fluke (модели 863, 865, 867), но и сравнительно небольшим компаниям из Юго-Восточной Азии, например Hung Chang (модели S2400 и S2800).

Цены мультиметров определяются точностью и набором выполняемых функций. Сегодня они лежат в пределах от нескольких десятков до нескольких тысяч долларов, что требует от покупателя четкого определения круга задач, для которых приобретается прибор.

При выборе средства измерения (СИ) необходимо обратить внимание на то, внесен ли его тип в Государственный реестр средств измерения, разрешенных к применению на территории Российской Федерации.

Все отечественные СИ проходят процедуру испытаний с целью утверждения типа, при

которых проводится экспертиза (а при необходимости и коррекция) правильности выбора и определения метрологических характеристик, инструкций по эксплуатации и поверке. При положительном результате экспертизы документов и экспериментальных исследований на СИ выдается сертификат об утверждении типа и соответствующая запись вносится в упомянутый Реестр. Существует перечень СИ, тип которых должен быть утвержден обязательно. В частности, это СИ, предназначенные для использования при взаиморасчетах, как, например, весы и счетчики электроэнергии, или применение которых связано с опасностью для жизни и здоровья людей — например, медицинские приборы. Если СИ не входит в этот перечень, как рассматриваемые мультиметры, проводить утверждения типа вообще не обязательно.

Однако именно наличие утверждения типа является юридическим основанием для использования полученных с применением данного СИ результатов измерения в тех случаях, когда они должны быть документированы, например, при контроле качества изделий или разрешении спорных ситуаций. СИ, не внесенные в Государственный реестр, не подлежат поверке.

Отметим, что обязательным требованием разрешения деятельности предприятий сервиса, включая небольшие мастерские по ре-

монту бытовых электроприборов, является наличие поверенных СИ, за чем следят надзорные органы Госстандарта.

Нередко импортирующие организации по незнанию или из экономических соображений сертифицируют СИ только на безопасность (сертификат соответствия по ГОСТ Р), но не проводят испытания с целью утверждения типа. При этом СИ могут на законных основаниях без ограничения ввозиться, продаваться, использоваться при исследованиях, разработках, наладочных работах и т. д., но результаты, полученные с их использованием, не имеют юридической силы, даже если эти СИ имеют очень высокие характеристики и изготовлены всемирно известными фирмами.

В случае необходимости СИ иностранного производства, уже находящиеся в России, по заявке как продавца, так и покупателя, могут быть подвергнуты испытаниям с целью утверждения типа и включены в Госреестр. При этом может быть утвержден тип без ограничения количества ввозимых СИ, на партию или на единичные образцы СИ с указанием их числа и заводских номеров.

Сведения о СИ, внесенных в Государственный реестр СИ, допущенных к применению в Российской Федерации, можно получить, отправив запрос по адресу 104.vniims@mtu-net.ru.

Основные нормативные документы, относящиеся к клещам токовым и переносным мультиметрам

Технические условия

1. ГОСТ 12997-84. Изделия ГСП. Общие технические условия.
2. ГОСТ 22261-94. Средства измерения электрических и магнитных величин. Общие технические условия.
3. ГОСТ 8476-78. Ваттметры и варметры. Общие технические условия.
4. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.

Общие технические требования и методы испытаний

5. ГОСТ 14014-91. Приборы и преобразователи измерительные цифровые напряжения, тока, сопротивления. Общие технические требования и методы испытаний.
6. ГОСТ 30012.1-93. Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним.
7. ГОСТ 8711-93. Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 2. Особые требования к амперметрам и вольтметрам.
8. ГОСТ 23706-93. Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 6. Особые требования к омметрам (приборам для измерения полного сопротивления) и приборы для измерения активной проводимости.
9. ГОСТ 9736-91. Приборы электрические прямого преобразования для измерения неэлектрических величин. Общие технические требования и методы испытаний.
10. ГОСТ 10374-93. Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 7. Особые требования к многофункциональным приборам.
11. ГОСТ 8.513-84. ГСИ. Поверка средств измерения. Организация и порядок проведения.

12. МИ1202-86. ГСИ. Приборы и измерительные преобразователи напряжения, тока, сопротивления. Общие требования к методике поверки.
13. МИ1835-88. ГСИ. Частотомеры электронно-счетные. Методики поверки.
14. ГОСТ 8.331-78. ГСИ. Измерители нелинейных искажений. Методы и средства поверки.
15. ГОСТ 8.497-83. ГСИ. Амперметры, вольтметры, ваттметры, варметры. Методики поверки.
16. ГОСТ 8.366-79. ГСИ. Омметры цифровые. Методы и средства поверки.
17. ГОСТ 27.410-87. Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность.
18. ПР 50.2.009-94. ГСИ. Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений.

Безопасность, электромагнитная совместимость

19. ГОСТ Р 51350-99 (МЭК 61010-1-90). Безопасность электрических контрольно-измерительных приборов и лабораторного оборудования. Часть 1. Общие требования (с 01.01.2001 ГОСТ 26104-89 отменен).
20. ГОСТ Р 51318.22-99. Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от оборудования информационных технологий. Нормы и методы испытаний.
21. ГОСТ Р 51318.14.1-99. Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от бытовых приборов, электрических инструментов и аналогичных устройств. Нормы и методы испытаний.
22. ГОСТ Р 50033-92. Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от устройств, содержащих источники кратковременных радиопомех. Нормы и методы испытаний.