

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Решение современных задач науки и техники требует высокой точности измерений неэлектрических величин, сопоставимой с точностью эталонных и образцовых мер. Такая точность измерения должна обеспечиваться в практических условиях производства при значительных вариациях температуры, влажности, давления, а также в течение длительных промежутков времени, например в течение нескольких лет при отсутствии частого доступа к измерительным устройствам. Проблема осложняется тем, что технические средства воспроизведения переменных сигналов неэлектрических величин практически отсутствуют. Поэтому наиболее перспективными методами повышения точности измерений являются методы, основанные на введении в измерительное устройство структурной и функциональной избыточности, позволяющей получить дополнительную информацию не только об измеряемой величине, но и о погрешностях, возникающих при измерениях, и тем самым исключить эти погрешности из результатов измерений.

В настоящее время существует несколько методов повышения точности, основанных на указанных выше принципах. Наиболее широкое применение нашел метод образцовых мер (сигналов), который предусматривает отключение от входа измеряемой величины и подключение образцовых мер, количество которых определяется степенью нелинейности градуировочной характеристики измерительного устройства. Применение методов образцовых мер при измерении неэлектрических величин сложно, а иногда вообще невозможно из-за отсутствия средств воспроизведения неэлектрических величин.

В последнее время для повышения точности измерений неэлектрических величин используются тестовые методы, основанные на использовании в дополнительных преобразователях тестов, результаты которых обрабатываются по заданному алгоритму. В формировании тестов участвует измеряемая величина, что позволяет преобразовывать тесты без отключения ее от входа измерительного устройства. Тестовые методы позволяют исключать влияние на результат измерения не только погрешностей, связанных с изменением параметров градуировочной характеристики измерительного устройства, но и ряда погрешностей, вносимых объектом измерения, каналом связи и т.д. Применение микропроцессоров в измерительных устройствах позволяет шире использовать методы тестового контроля с коррекцией, уменьшить систематические погрешности приборов за счет соответствующей обработки, организовать самодиагностику и контроль метрологических характеристик приборов в процессе их работы, расширить функциональные возможности приборов.

В самом простом случае, когда средство измерения (СИ) имеет линейную характеристику преобразования и возможно подключение образцовых сигналов к входу первичного измерительного преобразователя (ПИП) (при наличии калибратора измеряемой неэлектрической величины) используются два калибровочных образцовых сигнала. Обычно значения калибровочных чисел y_1 и y_2 определяются в два этапа при калибровке и характеризуют смещение нуля и коэффициент переноса измерительного тракта:

$$\begin{aligned} y &= a_1 + a_2 x \\ y_1 &= a_1 + a_2 x_{01} \\ y_2 &= a_1 + a_2 x_{02} \end{aligned} \quad (1)$$

где a_1 и a_2 - коэффициенты характеристики преобразования, x_{01} и x_{02} - значения образцовых сигналов.

Решив систему уравнений (1) можно найти значение входной величины:

$$x = x_{01} \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} + x_{02} \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} \quad (2)$$

Такой способ уменьшает как аддитивную, так и мультипликативную составляющие погрешности СИ. Он дает хорошие результаты, когда значения измеряемой величины и коэффициенты характеристики преобразования не изменяются за время, необходимое для получения одного измерения. Текущие значения калибровочных чисел могут определяться в процессе эксплуатации СИ с некоторой периодичностью и храниться в ОЗУ.

Остаточная погрешность СИ со скорректированными параметрами будет определяться изменением коэффициентов характеристики преобразования между двумя коррекциями, а также адекватностью реального входного сигнала и образцовых сигналов, погрешностью задания образцовых сигналов, инструментальными погрешностями всего устройства и отличием реальной статической характеристики СИ от запомненной в ЗУ. Этот способ позволяет корректировать погрешности СИ с нелинейными характеристиками, но в этом случае вычислительное устройство должно решать систему уравнений более высокого порядка.

Особое значение при реализации методов тестового контроля имеет сравнение оценки основной погрешности СИ с контролируемым допуском, хранящимся в ЗУ, и вероятностный контроль, заключающийся в проверке условия, что вероятность события "СИ негодно" не превышает предела допустимой вероятности.

В общем случае остаточную погрешность скорректированного результата можно представить в виде:

$$\Delta_{\text{ост}} = (\Delta_{\text{п}} + \Delta_{\text{пу}}) - (\Delta_{\text{п}} + \Delta_0) = \Delta_{\text{пу}} - \Delta_0$$

где $\Delta_{\text{н}}$ - погрешность, вносимая измерительным трактом, $\Delta_{\text{нр}}$ - погрешность, неустранимая при коррекции (погрешность неконтролируемых элементов, погрешность обусловленная отличием реальной характеристики преобразования от запомненной в ОЗУ), Δ_0 - погрешность задания образцовых сигналов.

Будем считать, что при $|\Delta_{\text{ост}}| \leq \Delta_{\text{пл}}$ где $\Delta_{\text{пл}}$ - предел допускаемого значения погрешности СИ, прибор годен, если $|\Delta_{\text{ост}}| > \Delta_{\text{пл}}$ то прибор негоден.

Вероятность брака поверки первого рода:

$$p_1 = P\left[|\Delta_{\text{нр}} - \Delta_0| \leq \Delta_{\text{пл}} \mid |\Delta_{\text{нр}}| > \Delta_{\text{пл}}\right]; \quad (3)$$

брака поверки второго рода:

$$p_2 = P\left[|\Delta_{\text{нр}} - \Delta_0| > \Delta_{\text{пл}} \mid |\Delta_{\text{нр}}| < \Delta_{\text{пл}}\right]. \quad (4)$$

$$p_1 = \int_{-\infty}^{-\Delta_{\text{пл}}} P(\Delta_{\text{нр}}) \left[\int_{\Delta_{\text{нр}} - \Delta_{\text{пл}}}^{\Delta_{\text{нр}} + \Delta_{\text{пл}}} P(\Delta_0) d\Delta_0 \right] d\Delta_{\text{нр}} + \int_{\Delta_{\text{пл}}}^{\infty} P(\Delta_{\text{нр}}) \left[\int_{\Delta_{\text{нр}} - \Delta_{\text{пл}}}^{\Delta_{\text{нр}} + \Delta_{\text{пл}}} P(\Delta_0) d\Delta_0 \right] d\Delta_{\text{нр}}$$

$$p_2 = \int_{-\Delta_{\text{пл}}}^{+\Delta_{\text{пл}}} P(\Delta_{\text{нр}}) \left[\int_{-\infty}^{\Delta_{\text{нр}} - \Delta_{\text{пл}}} P(\Delta_0) d\Delta_0 + \int_{\Delta_{\text{нр}} + \Delta_{\text{пл}}}^{\infty} P(\Delta_0) d\Delta_0 \right] d\Delta_{\text{нр}}$$

Влияние величины погрешности неконтролируемых элементов на результаты коррекции возрастает, если входные величины СИ невозможно иммитировать с помощью калибратора, что характерно для многих СИ неэлектрических величин и для СИ некоторых электрических величин. В таких СИ образцовый сигнал, формируемый самим СИ, при самокалибровке подается на вход вторичного измерительного преобразователя и, таким образом, погрешность ПИП не контролируется и входит как систематическая составляющая в результирующую погрешность СИ.

В этом случае особое значение приобретает априорная информация о погрешности ПИП. Для обеспечения малой погрешности измерительного преобразования проанализированы источники дестабилизирующих влияний, снижающих точность ПИП. Они разделены на три группы: 1) случайные влияющие процессы (шумы, помехи); 2) временные изменения параметров ПИП вследствие старения и дрейфа; 3) воздействие внешних влияющих факторов (температура, влажность и др.). Экспериментальные исследования показали, что основные составляющие погрешностей ПИП создаются в результате воздействия климатических факторов и, главным образом, температуры. Для уменьшения указанных влияний при создании ПИП применяются оригинальные схемотехнические решения, используют

высокостабильные и точные электронные компоненты, а также вводится активное термостабилизирование всей измерительной схемы устройств. Компенсируют погрешность ПИП, обусловленную влияющими факторами, например, температурой, источником питания, расчетным путем, измеряя соответствующие параметры влияющих величин и их функции влияния.

Описанные выше методы повышения точности измерений реализованы в серии измерительных преобразователей параметров электрических сетей, в которую входят датчики тока, напряжения, мощности и учета электроэнергии. Для обеспечения систематического контроля метрологических характеристик датчиков в них введены вручную и дистанционно управляемые образцовые средства, которые позволяют контролировать смещение нуля и коэффициенты передачи их измерительных трактов. Для обработки и учета результатов калибровок предложены формулы и алгоритмы, позволяющие корректировать смещение нуля и коэффициент передачи в процессе выполнения измерений, что позволяет повысить точность ПИП.

Для вторичных нормирующих преобразователей силоизмерительных каналов АСУ прочностными испытаниями разработана программа тест-контроля и градуировки с использованием имитатора ИСИ-1М, которая осуществляет не только контроль состояния модулей системы, но и определение статической характеристики и вычисление метрологических характеристик канала.