

**ТЕОРИЯ ИЗБЫТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ:
РЕШЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ИЗБЫТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН НАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ
С ПРИПИСЫВАЕМОЙ ОБЪЕКТУ ИЗМЕРЕНИЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ
МОДЕЛЬЮ
СООБЩЕНИЕ 2.1**

В сообщении рассмотрены пути и методы решения задач избыточных измерений физических величин направленного действия с приписываемой объекту измерений математической моделью и при линейной функции преобразования измерительного канала.

Ключевые слова: метрологические задачи, методы решения, избыточные измерения, информативно-избыточные модели.

In the message ways and methods of the decision of metrological problems of redundant measurements of physical quantities of the directed action are considered. And problems with attributed to object of measurements of mathematical model are considered and at linear function of transformation of the measuring channel.

Keywords: metrological problems, decision methods, redundant measurements, informatively-redundants models.

Введение

В работах [1-4] описаны пути и методов решения метрологических задач при линейной функции преобразования измерительного канала. Причем в работе [1] описан фундаментальный подход к решению метрологических задач, который может служить основой для написания кандидатских диссертаций по избыточным измерениям величин разной физической природы. Описана классификация путей и методов решения метрологических задач. Показано, что теоретическая проработка всех этапов решения метрологических задач является залогом успешного создания средств избыточных измерений. Рассмотрен частный пример решения метрологической задачи без приписываемой объекту измерений математической модели и для случая измерения физических величин направленного действия при линейной функции преобразования измерительного канала. В работах [2, 3] рассмотрены пути и методы решения метрологических задач избыточных измерений физических величин направленного и ненаправленного действия без приписываемой объекту измерений математической модели, а в работе [4] — с приписываемой объекту измерений математической моделью, но только для физических величин ненаправленного действия.

Ниже рассматриваются пути и методы решения еще четырех метрологических задач избыточных измерений физических величин направленного действия с приписываемой объекту измерений математической моделью. Описание данных задач приводится в усеченном виде, — без определения метрологических характеристик, параметров и показателей метрологической надежности в отличие от [1].

Пути и методы решения метрологических задач с приписываемой объекту измерений математической моделью рассматриваются на примерах избыточных измерений конкретных физических величин направленного действия. Их различия, как будет показано ниже, состоят в способах физической реализации измеряемых величин, однородных с искомой.

Объект исследований — процесс избыточных измерений действующего значения тока в высоковольтной линии электропередач.

Предмет исследований — процесс избыточных измерений действующего значения тока при решении метрологических задач с приписываемой объекту измерений математической моделью и при линейной функции преобразования измерительного канала.

Целью работы является ознакомление ученых и специалистов с путями и методами решения конкретных метрологических задач избыточных измерений физических величин направленного действия, — действующего значения тока, с приписываемой объекту измерений математической моделью.

Результаты исследований

Метрологическая задача 10

Рассмотрим метрологическую задачу определения бесконтактным методом действующего значения тока в высоковольтной линии электропередач постоянного или переменного тока с использованием датчика Холла и значений параметров функции преобразования измерительного канала с целью текущего контроля состояния и поддержания метрологической сверхнадежности интеллектуальной измерительной системы «ОИ – СИИ» для случая, когда не возможно сформировать физическую величина нулевого размера, но в наличии имеется мера, воспроизводящая магнитное поле с установленным опорным значением напряженности B_0 .

Предположим, что объекту измерения приписывается математическая модель, связывающая ЭДС Холла E_x , магнитную индукцию B_x , ток управления I_y и постоянную Холла R_x . Причем имеет место линейная зависимость ЭДС Холла от магнитной индукции:

$$E_{xx} = R_x I_y B_x / d_0, \quad (1)$$

где $B_x = k_{\Pi} I_x$; k_{Π} — коэффициент пропорциональности; I_x — действующее значение тока; d_0 — толщина полупроводниковой пластины датчика Холла.

Как будет показано ниже, практическая реализация «меры» напряженности магнитного поля, воспроизводящей опорное значение $\{B_0\}$ напряженности, не представляет трудностей. Причем опорное значение напряженности B_0 магнитного поля может быть как постоянным, так и переменным во времени.

Решения данной задачи рассмотрим для случая, когда физически невозможно осуществить обесточивание линии электропередач. При этом используются ряды измеряемых физических величин, размеры которых связаны между собой по закону арифметической и геометрической прогрессий:

$$\left. \begin{aligned} E_{x1} &= R_x I_y B_x / d_0, \\ E_{x2} &= R_x k_{\Pi} I_y B_x / d_0, \\ E_{x3} &= R_x I_y (B_x + B_0) / d_0, \\ E_{x4} &= R_x k_{\Pi} I_y (B_x + B_0) / d_0. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

В данном случае информативная избыточность достигается путем измерительного преобразования в напряжение напряженности магнитных полей (B_x и $B_x + B_0$), создаваемых токами от исследуемой высоковольтной линии электропередач и от стабильного генератора тока при двух значениях тока управления I_y , — при начальном, при котором устанавливается рабочая точка, и при измененном в k_{Π} раз (на (10–20)%).

При линейной функции преобразования измерительного канала на его выходе получают напряжения

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= S'_{\Pi} E_{x1} + \Delta U'_{\Pi}, \\ U_2 &= S'_{\Pi} E_{x2} + \Delta U'_{\Pi}, \\ U_3 &= S'_{\Pi} E_{x3} + \Delta U'_{\Pi}, \\ U_4 &= S'_{\Pi} E_{x4} + \Delta U'_{\Pi}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

пропорциональные ЭДС Холла, и описывающие состояние измерительной системы в дискретные моменты времени.

Следует заметить, что при вводе устройства, реализующего метод избыточных измерений, в эксплуатацию запоминаются номинальные значения параметров измерительного канала — S'_{Π} и $\Delta U'_{\Pi}$, полученные при значении напряженности магнитного поля B_0 , воспроизводимого мерой, и двух значениях тока управления: $\{I_{y1}\} = \{I_y\}$ и $\{I_{y2}\} = k_{\Pi} \{I_y\}$.

Запишем систему линейных уравнений величин (3), с учетом приписываемой математической модели (2), в виде:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= S'_{\Pi} R_x I_y B_x / d_0 + \Delta U'_{\Pi}, \\ U_2 &= S'_{\Pi} R_x k_{\Pi} I_y B_x / d_0 + \Delta U'_{\Pi}, \\ U_3 &= S'_{\Pi} R_x I_y (B_x + B_0) / d_0 + \Delta U'_{\Pi}, \\ U_4 &= S'_{\Pi} R_x k_{\Pi} I_y (B_x + B_0) / d_0 + \Delta U'_{\Pi}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

В результате решения системы (3) получают уравнение избыточных измерений:

а) действующего значения тока (через разности второго и первого, четвертого и третьего уравнений величин системы (4)), — в виде

$$I_x = \frac{B_x}{k_{\Pi}} = \frac{B_0}{k_{\Pi}} \frac{U_2 - U_1}{(U_4 - U_3) - (U_2 - U_1)}; \quad (5)$$

б) крутизны преобразования (из разности первого и третьего напряжений), — в виде

$$S'_{\Pi} = d_0 (U_3 - U_1) / R_x I_y B_0 = (U_3 - U_1) / E_{x0} \quad (6)$$

или (из разности четвертого и второго напряжений)

$$S'_{\Pi} = d_0 (U_4 - U_2) / k_{\Pi} R_x I_y B_0 = (U_4 - U_2) / k_{\Pi} E_{x0}; \quad (7)$$

в) смещения функции преобразования, — в виде

$$\Delta U'_{\Pi} = U_1 - \frac{(U_3 - U_1)(U_2 - U_1)}{(U_4 - U_3) - (U_2 - U_1)} \quad (8)$$

или

$$\Delta U'_{\Pi} = U_2 - \frac{(U_4 - U_2)(U_2 - U_1)}{(U_4 - U_3) - (U_2 - U_1)}. \quad (9)$$

Согласно (5), результат избыточных измерений действующего значения тока не зависит от Э.Д.С.

Холла, от постоянной R_x Холла, от толщины d_0 полупроводниковой пластины датчика Холла, а также от параметров S'_L и $\Delta U'_L$ линейной функции преобразования измерительного канала. Благодаря этому достигается высокая точность измерений.

Для рассматриваемой задачи формализованное описание измерительного канала в виде информативно-избыточной модели может быть записано следующим образом:

$$E_{xxi} \left| \begin{matrix} i=4 \\ i=1 \end{matrix} \right. \begin{matrix} E_x \\ B_x I_x \end{matrix} \Rightarrow U_{Li} \left| \begin{matrix} \tilde{s}_u \leq 1 \text{ ppm/1 час} \\ \tau_{np} \leq 1 \text{ мс} \end{matrix} \right. = S'_L E_{xi} + \Delta U'_L \left| \begin{matrix} k_{yc} \approx 1 \cdot 10^3 \\ \Delta U_L = 5 \cdot 10^{-3} \text{ В} \\ \Delta f = 50 \text{ кГц} \end{matrix} \right. \begin{matrix} \text{АЦП14} \\ f_d = 10 \text{ кГц} \\ N_i \end{matrix} \left| \begin{matrix} i=4 \\ i=1 \end{matrix} \right. \quad (10)$$

Формализованная информативно-избыточная модель (10) читается следующим образом: 1) измеряются четыре однородные физические величины (2); 2) осуществляется прямое измерительное преобразование каждой физической величины в напряжение с модуляцией тока управления магнитной индукцией; 3) измерительный канал имеет линейную функцию преобразования; 4) дрейф нуля не превышает 1 мкВ в час; 5) время преобразования составляет не более 1 мс; 6) коэффициент усиления измерительного канала равен 1000; 7) полоса пропускания составляет 50 кГц; 8) аналого-цифровое преобразование выходного сигнала измерительного канала осуществляется 14-ти разрядным АЦП; 9) частота дискретизации АЦП $f_d = 10$ кГц.

На рисунке приведена функциональная схема интеллектуального цифрового измерителя действующих значений токов в высоковольтной линии электропередач, где М — кольцеобразный магнитопровод с зазором; СГТ — стабильный генератор тока (мера); ОИ — объект измерений (фрагмент высоковольтной линии электропередач); ДХ — датчик Холла; ДУ1 и ДУ2 — первый и второй дифференциальные усилители; УИТ — управляемый (стабилизированный) источник тока; ЦАП — цифроаналоговый преобразователь; КЛ — клавиатура (наборное поле); МК — микроконвертер; ЭС — экспертная система; ЖКИ — жидкокристаллический индикатор.

Работа измерителя достаточно проста и осуществляется по командам, записанным в постоянное запоминающее устройство сигнального процессора СП. Магнитопровод М устанавливается на заданном участке высоковольтной линии электропередач как указано на рисунке. Электромагнитное поле, создаваемое током I_x высоковольтной линии электропередач, наводит в магнитопроводе М магнитное поле напряженностью B_x . Генератор тока СГТ генерирует стабильный ток I_0 принятого значения, который, проходя через катушку индуктивности L , и наводит в магнитопроводе М магнитное поле напряженностью B_0 . Причем в первых двух тактах на вход генератора тока СГТ поступает сигнал с выхода последовательного порта SPI, который выключает СГТ.

Магнитное поле напряженностью B_0 не формируется. В последующие два такта СГТ включается по команде с СП и в магнитопроводе М наводится магнитное поле напряженностью B_0 .

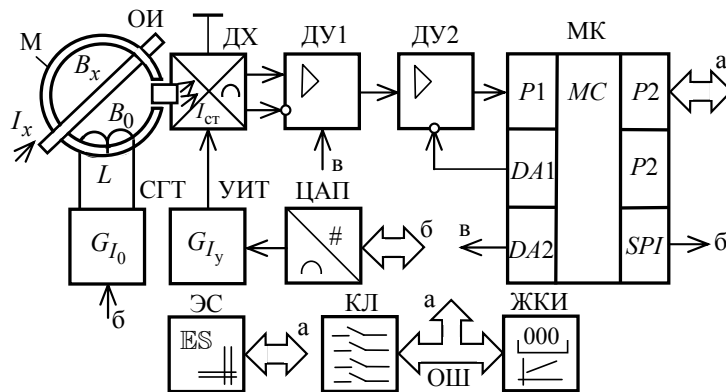


Рис. 1. Функциональная схема цифрового измерителя тока

Согласно поставленной задаче, магнитные поля напряженностью B_x и B_0 воздействуют на чувствительный элемент датчика Холла ДХ, расположенный в зазоре кольцеобразного магнитопровода М. На токовый вход ДХ поступает ток управления I_y , значение которого регламентируется паспортными данными на используемый датчик Холла.

В первом такте в напряжение U_1 преобразуется э. д. с. Холла E_{x1} , пропорциональная напряженности магнитного поля B_x при токе управления I_{y1} ($\{I_{y1}\} = \{I_y\}$). Во втором такте в напряжение U_2 преобразуется э. д. с. Холла E_{x2} , пропорциональная напряженности магнитного поля B_x , но при токе I_{y2} ($\{I_{y2}\} = k_L \{I_y\}$). Изменение значения тока управления осуществляется напряжением, поступающим на

управляющий вход стабилизированного источника тока УИТ с выхода порта «DA2» микроконтроллера МК. В третьем такте в напряжение U_3 преобразуется э. д. с. Холла E_{x3} , пропорциональная напряженности B_3 $\{B_3\} = \{B_x\} + \{B_0\}$ суммарного магнитного поля. И, наконец, в четвертом такте в напряжение U_4 преобразуется э. д. с. Холла E_{x4} , пропорциональная напряженности B_3 суммарного магнитного поля, но при токе I_{y2} . Полученные напряжения обрабатываются согласно уравнениям избыточных измерений (5), ..., (9).

Особенностью путей и методов решения метрологических задач с приписываемой объекту измерений математической моделью является возможность методов избыточных измерений естественным образом исключать влияние на конечный результат измерений как абсолютных значений параметров функции преобразования измерительного канала и их изменений под действием внешних дестабилизирующих факторов, так и влияние тока управления I_y , постоянной Холла, коэффициента пропорциональности k_{Π} и толщины d_0 полупроводниковой пластины датчика Холла.

Определение параметров функции преобразования измерительного канала дает возможность контролировать изменение во времени состояния измерительного канала по соответствующим изменениям значений крутизны преобразования S'_Π и смещения $\Delta U'_\Pi$ и своевременно решать задачи оценки метрологической надежности цифрового измерителя тока.

Метрологическая задача 11

Решение описанной выше метрологической задачи рассмотрим для случая, когда диапазон измеряемых значений напряженности магнитного поля ограничен сверху значением $\{B_{\max}\} = \{B_x\} + \{B_0\}$. Увеличение значения тока управления в k_Π раз не должно приводить к превышению максимального значения напряженности магнитного поля. В этом случае рекомендуется использовать минимальное число рядов физических величин, т.е. B_x , $k_\Pi B_x$ и $B_x + B_0$, размеры которых связаны между собой по закону арифметической и геометрической прогрессий. В результате получают систему из трех линейных уравнений величин:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= S'_\Pi R_x I_y B_x / d_0 + \Delta U'_\Pi, \\ U_2 &= S'_\Pi R_x k_\Pi I_y B_x / d_0 + \Delta U'_\Pi, \\ U_3 &= S'_\Pi R_x I_y (B_x + B_0) / d_0 + \Delta U'_\Pi, \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

описывающих состояние измерительной системы в дискретные моменты времени.

Для вывода уравнения избыточных измерений действующего значения тока находят отношение разностей второго и первого, третьего и первого уравнений величин системы (11).

В результате решения получают уравнение избыточных измерений

$$I_x = \frac{B_x}{k_\Pi} = \frac{B_0}{k_\Pi} \frac{1}{k_\Pi - 1} \frac{U_2 - U_1}{U_3 - U_1} \quad (12)$$

с меньшим числом вычислительных операций, т.е. более простое, чем в предыдущей задаче.

В данной задаче крутизна преобразования определяется по уравнению избыточных измерений (6), а смещение функции преобразования — по уравнению избыточных измерений

$$\Delta U'_\Pi = U_1 - \frac{U_2 - U_1}{k_\Pi - 1} = \frac{k_\Pi U_1 - U_2}{k_\Pi - 1} \quad (13)$$

Обработка результатов промежуточных измерительных преобразований согласно (12) обеспечивает автоматическое исключение систематических погрешностей определения действительного значения постоянного тока высоковольтной линии электропередач. Получение информации о параметрах линейной функции преобразования позволяет вовремя осуществить их коррекцию и, там самым, обеспечить безотказную (с метрологической точки зрения) работу цифрового измерителя тока, реализующего метод избыточных измерений с приведенными выше математическими моделями.

В качестве информативно-избыточной модели измерительного канала может быть использована формализованная модель вида:

$$E_{xxi} \Big|_{i=1}^{i=3} \begin{matrix} E_x \\ \Rightarrow \\ B_x I_y \end{matrix} \Rightarrow U_{\Pi i} \Big|_{\tau_{\text{пр}} \leq 1 \text{мс}}^{\delta_{\text{и}} \leq 1 \text{ppm/час}} = S'_\Pi \begin{matrix} E_{xi} \\ \uparrow U_s \end{matrix} + \Delta U'_\Pi \Big|_{\Delta f = 50 \text{кГц}} \left. \begin{matrix} k_{\text{ус}} \cong 1 \cdot 10^3 \\ \Delta U_\Pi = 1 \cdot 10^{-3} \text{В} \\ \text{АЦП14} \\ f_{\text{д}} = 10 \text{кГц} \end{matrix} \right\} N_i \Big|_{i=1}^{i=3} \quad (14)$$

которая отличается от формализованной модели (10) только числом преобразуемых физических величин.

Реализация данного метода избыточных измерений осуществима с помощью цифрового измерителя тока, функциональная схема которого приведена выше.

Метрологическая задача 12

Если в высоковольтной линии электропередачи течет переменный ток, то соответствующее магнитное поле также будет переменным, т.е. $B_x(t) = k_{\Pi} i_x(t)$. В этом случае измерительное преобразование напряженности магнитного поля в э. д. с. Холла целесообразно осуществлять в течение заданного (нормированного) интервала времени Δt_0 . В результате получают следующую систему линейных уравнений величин, связывающих э. д. с. Холла с напряженностью переменного магнитного поля:

$$\left. \begin{aligned} E_{x1cp} &= \frac{R_x I_y}{d_0} B_x(t) \Big|_{за \Delta t_0}, \\ E_{x2cp} &= \frac{R_x k_{\Pi} I_y}{d_0} \overline{B_x(t)} \Big|_{за \Delta t_0}, \\ E_{x3cp} &= \frac{R_x I_y}{d_0} \left(B_0 + \overline{B_x(t)} \Big|_{за \Delta t_0} \right), \\ E_{x4cp} &= \frac{R_x k_{\Pi} I_y}{d_0} \left(B_0 + \overline{B_x(t)} \Big|_{за \Delta t_0} \right). \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Выбор длительности интервала времени Δt_0 зависит от времени последующей обработки «пачек» э. д. с. Холла.

Система линейных уравнений величин, описывающая состояние измерительной системы, примет вид:

$$\left. \begin{aligned} U_{1cp} &= S'_L E_{x1cp} + \Delta U'_L, \\ U_{2cp} &= S'_L E_{x2cp} + \Delta U'_L, \\ U_{3cp} &= S'_L E_{x3cp} + \Delta U'_L, \\ U_{4cp} &= S'_L E_{x4cp} + \Delta U'_L. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Согласно (15) и (16), в каждом такте получают «пачки» переменных сигналов. Во всех тактах длительность Δt_0 пачки постоянна, а ее начальный и конечный моменты времени привязывают к моментам времени перехода исследуемого сигнала через нулевое значение. По истечении четырех тактов измерительного преобразования сигналы «пачек» обрабатываются с целью получения амплитудного, среднего или действующего значения переменного тока высоковольтной линии электропередач. Обработка может осуществляться двумя способами:

1) непосредственно, — путем соответствующего аналогового детектирования «пачек» сигналов и получения постоянных напряжений U_1, U_2, U_3, U_4 , которые затем обрабатываются согласно уравнениям избыточных измерений (5) и (12);

2) опосредованно, — путем аналого-цифрового преобразования этих сигналов и двухэтапной цифровой обработке, — по уравнениям числовых значений, обеспечивающим получение амплитудного, среднего или действующего значения переменного тока высоковольтной линии электропередач в виде кодов чисел с последующей их вторичной обработкой по уравнениям числовых значений вида

$$N_{B_x} = N_{B_0} \frac{N_2 - N_1}{(N_4 - N_3) - (N_2 - N_1)} \quad (17)$$

или

$$N_{B_x} = N_{B_0} \frac{1}{k_{\Pi} - 1} \frac{N_2 - N_1}{N_3 - N_1}. \quad (18)$$

При наличии стационарных помех и наводок дополнительно используется статистическая обработка действующих значений сигналов в каждой «пачке».

Так, например, при $\Delta t_0 = 1$ с, каждая «пачка» содержит, при частоте переменного тока линии электропередач, равной 50 Гц, по 50 действующих значений сигнала, которые статистически обрабатываются известным способом.

Для решения задачи проектирования измерительной системы рекомендуется использование информативно-избыточной модели вида:

$$E_{xxi} \Big|_{i=1}^{i=2} \begin{matrix} E_x \\ \Rightarrow \\ B_x I_y \end{matrix} \Rightarrow \overline{U_{\Pi i}} \Big|_{\tau_{\text{нр}} \leq 1 \text{ мс}}^{\tilde{s}_u \leq 1 \text{ ppm/час}} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} (S'_L E_{xi} + \Delta U'_L) dt \left| \begin{matrix} k_{yc} \cong 2 \cdot 10^3 \\ \Delta U_L = 3 \cdot 10^{-3} \text{ В} \\ \Delta f = 50 \text{ кГц} \end{matrix} \right. \begin{matrix} \text{АЦП14} \\ \Rightarrow \\ f_{\text{д}} = 10 \text{ кГц} \end{matrix} N_{xi} \Big|_{i=1}^{i=4}. \quad (19)$$

Реализация описанного метода избыточных измерений осуществима с помощью цифрового измерителя тока, функциональная схема которого приведена на рисунке.

Метрологическая задача 13

Рассмотрим вариант решения метрологической задачи для случая, когда возможно физическое отключение (обесточивание) высоковольтной линии электропередач или исключение иным способом действия на датчик Холла электромагнитного поля, создаваемого, например, постоянным током высоковольтной линии электропередач.

Возможность обесточивания линии электропередач позволяет упростить решение данной метрологической задачи. В этом случае, с целью достижения минимальной систематической погрешности, используются ряды физических величин, размеры которых составляют геометрические прогрессии, т.е. B_0 и $k_{л}B_0$, B_x и $k_{л}B_x$. Получение второй и четвертой физических величин достигается путем изменения тока управления датчиком Холла в $k_{л}$ раз.

Состояние измерительной системы для рассматриваемого случая опишется системой линейных уравнений величин:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= S'_л R_x I_y B_0 / d_0 + \Delta U'_л, \\ U_2 &= S'_л k_{л} R_x I_y B_0 / d_0 + \Delta U'_л, \\ U_3 &= S'_л R_x I_y B_x / d_0 + \Delta U'_л, \\ U_4 &= S'_л k_{л} R_x I_y B_x / d_0 + \Delta U'_л. \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Напряженность магнитного поля в проводнике, т.е. результат измерений действительного значения тока опишется уравнением избыточных измерений вида (с учетом, что $B_x = k_{л} I_x$)

$$I_x = \frac{B_x}{k_{л}} = \frac{B_0}{k_{л}} \frac{U_4 - U_3}{U_2 - U_1}. \quad (21)$$

При неизвестном значении коэффициента пропорциональности $k_{л}$, последний определяется при установленном опорном значении тока $I_x = I_{оп}$ в соответствии с уравнением избыточных измерений

$$k_{л} = \frac{B_0}{I_{оп}} \frac{U_4 - U_3}{U_2 - U_1}. \quad (22)$$

Крутизна преобразования или чувствительность измерительного канала определяется по уравнению избыточных измерений

$$S'_л = d_0 \frac{U_2 - U_1}{(k_{л} - 1) R_x I_y B_0}, \quad (23)$$

а смещение функции преобразования — по уравнению избыточных измерений вида (13).

Данный метод избыточных измерений также обеспечивает высокоточное определение искомых величин и параметров.

В качестве информативно-избыточной модели измерительного канала может быть использована формализованная модель вида

$$\overline{E_{x xi}} \Big|_{i=1}^{i=4} \xRightarrow{E_x} U_{ли} \Big|_{\substack{\tilde{s}_u \leq 1 \text{ ppm/час} \\ \tau_{пр} \leq 1 \text{ мс}}} = S'_л E_{xi} + \Delta U'_л \Big|_{\substack{k_{yc} \cong 1 \cdot 10^3 \\ \Delta U_{л} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ В} \text{ АЦП14} \\ f_{д} = 10 \text{ кГц} \\ \Delta f = 50 \text{ кГц}}} N_i \Big|_{i=1}^{i=4}. \quad (24)$$

Реализация описанной задачи избыточных измерений постоянного тока высоковольтной линии электропередач также может быть осуществлена с помощью цифрового измерителя тока, функциональная схема которого приведена на рисунке. Особенностью указанного технического решения является возможность реализации не одного, а нескольких методов избыточных измерений без изменения его структуры. Изменяется только программное обеспечение.

Полученные результаты избыточных измерений крутизны и смещения функции преобразования измерительного канала используются для осуществления метрологического самоконтроля цифрового измерителя тока. Для этого, по команде с микроконвертора МК, компенсирующее напряжение с аналогового выхода порта DA1 поступает на инверсный вход второго дифференциального усилителя ДУ2 и, по заданной программе, осуществляется изменение напряжения смещения измерительного канала до получения номинального значения $\{\Delta U_{л}\}$. Затем, с аналогового выхода порта DA2, на вход управления коэффициентом усиления ДУ1 поступает другое компенсирующее напряжение. С его помощью, по команде с микроконвертора МК, осуществляется изменение значения крутизны преобразования (коэффициента усиления) до номинального значения $S_{л}$. После этого осуществляется дополнительное определение параметров линейной функции преобразования согласно соответствующим уравнениям избыточных измерений. По результатам сравнения и при необходимости осуществляется дополнительная «тонкая» подстройка значений параметров до выполнения равенства текущих и номинальных значений.

Выводы

Описаны пути и методы решения метрологических задач избыточных измерений физических величин направленного действия, — действующего значения тока, с приписываемой объекту измерений математической моделью и при линейной функции преобразования измерительного канала. В рассмотренных методах решалась также задача контроля текущего состояния измерительного канала с целью обеспечения и поддержки метрологической сверхнадежности интеллектуальной измерительной системы «ОИ – СИИ», — цифрового измерителя тока высоковольтной линии электропередач.

Рассмотрены методы избыточных измерений при условии невозможности формирования физической величины нулевого размера.

Показано, что результат избыточных измерений действующего значения тока не зависит как абсолютных значений параметров измерительного канала и их отклонения от номинальных значений в процессе эксплуатации и старения его элементов и функциональных блоков, так и от Э.Д.С. Холла, от постоянной R_x Холла, от толщины d_0 полупроводниковой пластины датчика Холла, а также от параметров S'_d и $\Delta U'_d$ линейной функции преобразования измерительного канала. Благодаря этому достигается высокая точность измерений.

Рассмотрены четыре варианта решения метрологической задачи, отличающиеся между собой способами формирования рядов измеряемых физических величин, размеры которых составляют арифметическую и/или геометрическую прогрессию.

Приведено решение метрологической задачи для случая, когда диапазон измеряемых значений напряженности магнитного поля ограничен сверху значением $\{B_{\max}\} = \{B_x\} + \{B_0\}$. В этом случае рекомендовано использовать минимальное число рядов физических величин — B_x , $k_d B_x$ и $B_x + B_0$, размеры которых связаны между собой по закону арифметической и геометрической прогрессий. Максимальное число рядов физических величин составляет четыре.

Только избыточные измерения позволяют осуществить решение метрологических задач. Получение дополнительной информации о параметрах линейной функции преобразования дает возможность вовремя осуществить их коррекцию и, там, самым, обеспечить метрологическую сверхнадежность работы соответствующей измерительной системы.

Разработано техническое решение цифрового измерителя тока высоковольтной линии электропередач, которое обеспечивает реализацию не одного, а нескольких методов избыточных измерений без изменения его структуры. Меняется только программное обеспечение по реализации того или иного метода.

Для каждого технического решения измерительного канала приведены формализованные информативно-избыточной модели измерительного канала. Они устанавливают положительную обратную связь между разработчиками методов и средств измерений и являются важным атрибутом при создании высокоточных измерительных систем.

Работа представляет интерес для специалистов, работающих в области избыточных и метрологически надежных измерений действующего значения тока в высоковольтных линиях электропередач, для магистров и аспирантов, изучающих решение прикладных задач избыточных измерений величин направленного действия.

Литература

1. Кондратов В. Т. Теория избыточных измерений: решение метрологических задач при линейной функции преобразования измерительного канала. Сообщение 1.1 / В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. — 2012. — № 4. — С. 125-137.
2. Кондратов В. Т. Теория избыточных измерений: решение метрологических задач избыточных измерений физических величин направленного действия без приписываемой объекту измерений математической модели. Сообщение 1.2 / В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. — 2012. — № 5 — С. 183-193.
3. Кондратов В. Т. Теория избыточных измерений: решение метрологических задач избыточных измерений физических величин ненаправленного действия без приписываемой объекту измерений математической модели. Сообщение 1.3 / В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. — 2012. — № 6. — стр.174-183.
4. Кондратов В. Т. Теория и методы избыточных измерений / В. Т. Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 2012. — № 3. — С. 14-22.
5. Научно-исследовательский институт «Полус». Лазерные диоды непрерывного режима генерации. Режим доступа: <http://www.polyus.msk.ru/RU/ldioderu.html>.
6. Облучение. Режим доступа: <http://light.jino.ru/obluchenie/obluch/g11.htm>.

Надійшла 26.1.2013 р.
Статтю представляє: д.т.н. Кондратов В.Т.