



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ, ВНОСИМОЙ ПРИ АВТОКАЛИБРОВКЕ ИМИТАТОРОМ ВЫХОДНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ ДАТЧИКА

(ФГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)»)

Одним из самых эффективных и малозатратных способов повышения точности современных измерительных систем является автокалибровка, при которой периодически или по внешней команде на вход измерительного канала (на вход датчика) подаются известные значения измеряемой величины.

При отсутствии возможности автокалибровки по входу измерительного канала используют автокалибровку по выходной электрической величине датчика, то есть по входу канала преобразования электрических величин (КПЭВ). Функциональная схема многоточечной измерительной системы с такой автокалибровкой приведена на рисунке 1.

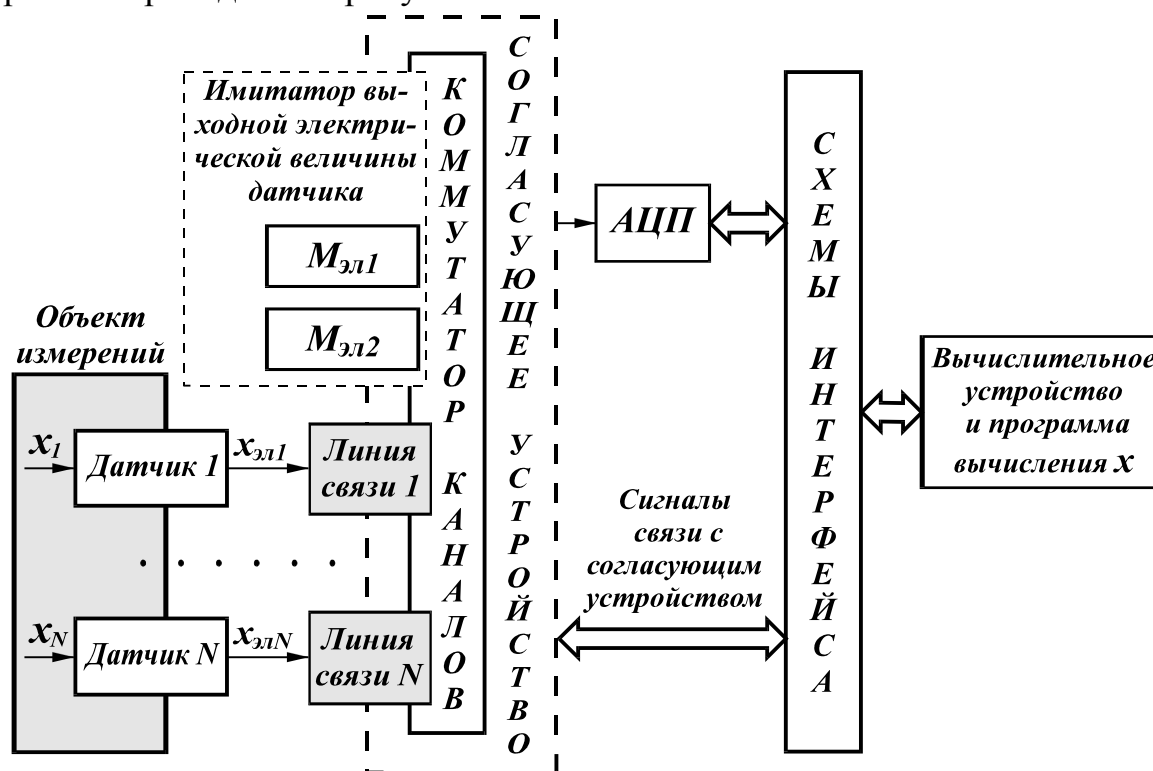


Рис. 1. Функциональная схема измерительной системы с автокалибровкой по входу канала преобразования электрической величины

В приведённое на рисунке 1 согласующее устройство кроме коммутатора каналов входит нормализатор измерительного сигнала, например, усилитель, а в измерительной системе с параметрическими датчиками – ещё и схема питания измерительных цепей (источник э.д.с. или источник тока). При линейной функции преобразования датчика и канала преобразования электрических величин для исключения вносимой КПЭВ аддитивной и мультипликативной со-



ставляющей погрешности необходимо использовать два значения меры $M_{эл1}$ и $M_{эл2}$ выходной электрической величины датчика, соответствующих или близких к минимальному и максимальному значению измеряемой величины x . Мерами $M_{эл1}$ и $M_{эл2}$ в случае резистивных датчиков являются меры сопротивления, например, прецизионные резисторы, в случае генераторных, например, термопар – меры напряжения и т. д.

Связь между выходным кодом n АЦП канала преобразования, включающего кроме функциональных узлов КПЭВ ещё и датчик, на который воздействует измеряемая величина x , при линейной зависимости n от x , с точностью до погрешности квантования, определяется выражением: $n = Sx + n_o$, где: S – коэффициент преобразования; n_o – некоторое начальное значение n .

По текущим значениям выходного кода n АЦП компьютер или микропроцессор при работе измерительной системы по известной формуле определения абсциссы точки, лежащей на прямой, соединяющей точки с координатами (x_1, n_1) и (x_2, n_2) , вычисляет значение измеряемой величины:

$$x = (n - n_1) \frac{x_2 - x_1}{n_2 - n_1} + x_1 \quad (1)$$

где: x_1 и x_2 – точки градуировки, определенные по функции преобразования используемых в системе датчиков для значений выходной электрической величины датчика, соответствующей значениям $M_{эл1}$ и $M_{эл2}$; n_1 и n_2 – соответствующие точкам градуировки значения выходных кодов АЦП.

Очевидно, что в этом случае (при линейной функции преобразования датчика) нет необходимости в отдельной процедуре градуировки системы.

Если рассматривать канал преобразования электрических величин отдельно, то можно записать: $n = S_{эл}x_{эл} + n_o$, где: $x_{эл} = f_{дат}(x)$ – текущее значение выходной электрической величины датчика, определяемое функцией преобразования датчика и значением измеряемой величины x в данный момент времени; $S_{эл}$ – коэффициент преобразования $x_{эл}$.

Если при автокалибровке по входу КПЭВ использовать $M_{эл1} = f_{дат}(x_1)$ и $M_{эл2} = f_{дат}(x_2)$, то соответствующие $M_{эл1}$ и $M_{эл2}$ выходные коды АЦП равны: $n_1 = S_{эл}M_{эл1} + n_o$ и $n_2 = S_{эл}M_{эл2} + n_o$.

Подставив выражения для n , n_1 и n_2 в формулу (1), получим:

$$x = (x_{эл} - M_{эл1}) \frac{x_2 - x_1}{M_{эл2} - M_{эл1}} + x_1 \quad (2)$$

Формулу (2) можно рассматривать как функцию преобразования значения $x_{эл}$ в x , для которой можно записать коэффициент преобразования:

$$S_x = \frac{dx}{dx_{эл}} = \frac{x_2 - x_1}{M_{эл2} - M_{эл1}} \quad (3)$$



Изменение значений $M_{эл1}$ и $M_{эл2}$ вызывает изменение S_x и, следовательно, мультипликативную погрешность измерения.

Для определения изменений $\Delta S_{xM_{эл1}}$ и $\Delta S_{xM_{эл2}}$, возникающих при изменениях $\Delta M_{эл1}$ и $\Delta M_{эл2}$, воспользуемся формулой частных приращений функции нескольких переменных, в соответствии с которой:

$$\Delta S_{xM_{эл1}} = \frac{\partial S_x}{\partial M_{эл1}} \Delta M_{эл1} = \frac{x_2 - x_1}{(M_{эл2} - M_{эл1})^2} \Delta M_{эл1} \text{ и}$$

$$\Delta S_{xM_{эл2}} = \frac{\partial S_x}{\partial M_{эл2}} \Delta M_{эл2} = -\frac{x_2 - x_1}{(M_{эл2} - M_{эл1})^2} \Delta M_{эл2}.$$

Относительные изменения $\Delta S_{xM_{эл1}}$ и $\Delta S_{xM_{эл2}}$, определяющие составляющие относительной мультипликативной погрешности $\delta_{SxM_{эл1}}$ и $\delta_{SxM_{эл2}}$, возникающие при изменениях $\Delta M_{эл1}$ и $\Delta M_{эл2}$, равны:

$$\delta_{SxM_{эл1}} = \frac{\Delta S_{xM_{эл1}}}{S_x} = \frac{\Delta M_{эл1}}{M_{эл2} - M_{эл1}} \text{ и } \delta_{SxM_{эл2}} = \frac{\Delta S_{xM_{эл2}}}{S_x} = \frac{\Delta M_{эл2}}{M_{эл1} - M_{эл2}}.$$

Основным дестабилизирующим фактором, воздействующим на элементы имитатора выходной электрической величины датчика, является температура окружающей среды. Поэтому изменение значения меры, воспроизводящей выходную электрическую величину датчика, определяется температурным коэффициентом (ТКМ) элемента, используемого в мере, и диапазоном температуры окружающей среды $\Delta \Theta_{окр.ср}$. Например, для $M_{эл1}$ можно записать: $\Delta M_{эл1} = M_{эл1} \cdot ТКМ_{эл1} \cdot \Delta \Theta_{окр.ср}$. Тогда для $\delta_{SxM_{эл1}}$ получим:

$$\delta_{SxM_{эл1}} = \frac{\Delta M_{эл1}}{M_{эл2} - M_{эл1}} = \frac{M_{эл1} \cdot ТКМ_{эл1} \cdot \Delta \Theta_{окр.ср}}{M_{эл2} - M_{эл1}} = \frac{ТКМ_{эл1} \cdot \Delta \Theta_{окр.ср}}{\frac{M_{эл2}}{M_{эл1}} - 1}.$$

Из полученной формулы следует, что при малом диапазоне изменения x значение x_2 близко к значению x_1 и, соответственно, $M_{эл2}$ близко к значению $M_{эл1}$. При этом знаменатель в полученной формуле мал и относительная мультипликативная погрешность $\delta_{SxM_{эл1}}$ может существенно превышать относительную температурную нестабильность меры $M_{эл1}$, определяемую числителем. Такой же результат получается и для меры $M_{эл2}$.

Если значение $M_{эл2}$ сформировать как сумму меры $M_{эл1}$ и некоторой меры $M_{эл3}$, соответствующей диапазону изменения выходной электрической величины датчика, например, сопротивления терморезистора то:

$$M_{эл2} = M_{эл1} + M_{эл3}. \quad (4)$$

Подставив (4) в (2), получим:

$$x = (x_{эл} - M_{эл1}) \frac{x_2 - x_1}{M_{эл3}} + x_1. \quad (5)$$



Коэффициент преобразования в этом случае:

$$S_x = \frac{dx}{dx_{эл}} = \frac{x_2 - x_1}{M_{эл3}}. \quad (6)$$

Из формулы (6) следует, что нестабильность S_x , при этом, определяется только нестабильностью меры $M_{эл3}$: $\Delta S_x = \frac{\partial S_x}{\partial M_{эл3}} \Delta M_{эл3} = -\frac{x_2 - x_1}{M_{эл3}^2} \Delta M_{эл3}$, а относительная мультипликативная погрешность равна:

$$\delta_{Sx} = \frac{\Delta S_x}{S_x} = -\frac{\Delta M_{эл3}}{M_{эл3}}. \quad (7)$$

Подставив температурное изменение $\Delta M_{эл3} = M_{эл3} \cdot TKM_{эл3} \cdot \Delta \Theta_{окр.ср}$ в формулу (7), получим:

$$\delta_{Sx} = \frac{\Delta M_{эл3}}{M_{эл3}} = TKM_{эл3} \cdot \Delta \Theta_{окр.ср}. \quad (8)$$

То есть относительная температурная мультипликативная погрешность в этом случае определяется относительным температурным изменением $M_{эл3}$.

В соответствии с формулой (5) изменение $M_{эл1}$ вызывает изменение x :

$\Delta x_{Mэл1} = \frac{\partial x}{\partial M_{эл1}} \Delta M_{эл1} = -\frac{x_2 - x_1}{M_{эл3}} \Delta M_{эл1}$, представляющее собой абсолютную аддитивную погрешность. Относительное значение этой аддитивной погрешности, приведённое к диапазону $x_2 - x_1$, определяется выражением:

$$\delta_{0Mэл1} = \frac{\Delta x_{Mэл1}}{x_2 - x_1} = -\frac{\Delta M_{эл1}}{M_{эл3}}. \quad (9)$$

Подставив в выражение (9) температурное изменение $\Delta M_{эл1}$, получим формулу для определения относительной аддитивной температурной погрешности, которая может быть внесена в результат измерения мерой $M_{эл1}$:

$$\delta_{0Mэл1} = -\frac{M_{эл1} \cdot TKM_{эл1} \cdot \Delta \Theta_{окр.ср}}{M_{эл3}}. \quad (10)$$

Из формулы (10) следует, что приведенная относительная аддитивная погрешность в $M_{эл1}/M_{эл3}$ раз отличается от относительной температурной нестабильности меры $M_{эл1}$.

При автокалибровке устраняется влияние изменений неинформативных параметров, участвующих в формировании выходного кода АЦП и калибровочного и рабочего каналов. Поэтому относительная погрешность измерения величины x для рассмотренной системы определяется формулой:

$$\delta_x = \delta_{датчика} + \delta_{ИД} + \delta_{квантования}, \quad (11)$$

где в погрешность имитатора датчика $\delta_{ИД}$ кроме составляющих погрешности, определяемых выражениями (8) и (10), входят составляющие основной по-



грешности, определяемые по формулам (7) и (9) и обусловленные отклонением $M_{эл1}$ и $M_{эл3}$ от номинальных или измеренных значений.