

Барьер искробезопасности БИ-001

Методика расчета погрешности, вносимой в измерительный канал

1. Трехпроводная схема подключения

Погрешность, вносимая барьером БИ-001 в измерительный канал, состоит из трех основных составляющих:

- 1) δ_{pn} - погрешность от разбаланса плеч;
- 2) δ_{my} - погрешность от токов утечки;
- 3) δ_{nc} - погрешность от проходного сопротивления плеч.

Приведенная погрешность δ , вносимая барьером, вычисляется по следующей формуле:

$$\delta = \delta_{pn} + \delta_{my} + \delta_{nc} \quad (1)$$

Ниже рассмотрим каждую составляющую в отдельности.

1.1. Погрешность от разбаланса плеч

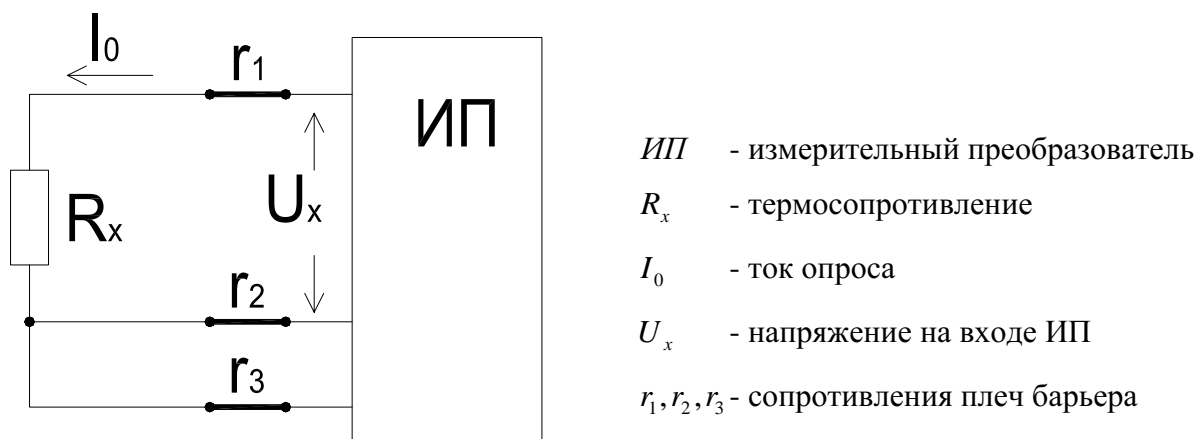


Рис. 1 Трехпроводная схема подключения термопреобразователя сопротивления к вторичному измерительному преобразователю

Для трехпроводной схемы измерения, изображенной на 0, напряжение на входе вторичного измерительного преобразователя определяется по формуле:

$$U_x = I_0 \times (R_x + r_1 - r_2) \quad (2)$$

Здесь сопротивления плеч барьера являются частями соответствующих сопротивлений линий связи. Следовательно, разбаланс плеч барьера напрямую входит в погрешность измерения сопротивления. Для барьеров БИ-001 при заводской настройке обеспечивается разбаланс плеч не более 0,02 Ом.

Приведенная погрешность от разбаланса плеч, выраженная в процентах, вычисляется по формуле:

$$\delta_{pn} = \frac{0,02}{R_{\max} - R_{\min}} \times 100\% \quad (3)$$

Здесь R_{\max} и R_{\min} – максимальное и минимальное сопротивление терморезистора.

Значение R_{\max} и R_{\min} определяют, исходя из диапазона измерения температуры и градуировочных характеристик термопреобразователя сопротивления. Для стандартных термопреобразователей градуировочные таблицы приведены в ГОСТ 6651-94.

1.2. Погрешность от токов утечки

Для ограничения напряжения искробезопасными величинами в схему БИ-001 входят диоды между сигнальными линиями и контуром заземления. Хотя в рабочем режиме эти диоды закрыты, имеет место ток утечки через них. Чем этот ток больше, тем меньше ток через датчик и тем меньше, соответственно, напряжение на входе вторичного измерительного преобразователя. Ток утечки, в свою очередь, тем больше, чем больше напряжение на диодах. Таким образом, данная составляющая погрешности зависит от измерительного тока, генерируемого вторичным измерительным преобразователем, и от сопротивления терморезистора. Данная погрешность достигает максимума на верхней границе диапазона измерения. Приведенная погрешность от токов утечки, выраженная в процентах, вычисляется следующим образом:

$$\delta_{\text{ту}} = \frac{R_{\max} \times I_{\text{ум}}}{I_0 \times (R_{\max} - R_{\min})} \times 100\% \quad (4)$$

Ток I_0 опроса термопреобразователя определяется паспортными характеристиками вторичного измерительного преобразователя.

Определение значений R_{\max} и R_{\min} было описано выше (см. п.1.1).

Ток утечки диодов ($I_{\text{ум}}$), как было указано выше, есть функция от падения напряжения на терморезисторе. Поэтому сначала необходимо определить U_x по следующей формуле:

$$U_x = R_{\max} \times I_0 \quad (5)$$

Далее, если значение U_x не превысило 700 мВ, ток утечки вычисляют по следующей формуле:

$$I_{\text{ум}} = e^{\frac{U_x - 550}{70,58}} + 0,03 \quad (6)$$

Если значение U_x лежит в пределах от 700 мВ до 1 В, то для определения $I_{\text{ум}}$ следует использовать другую формулу:

$$I_{\text{ум}} = 105 \times 10^{-8} \times (U_x - 500)^3 - 8 \times 10^{-5} \times U_x^2 - 10^{-4} \times U_x + 0,14 \quad (7)$$

Полученные данные подставляют в формулу 4.

ВНИМАНИЕ: в формулы 6 и 7 значение U_x необходимо подставлять в милливольтах, а полученный результат будет выражен в микроамперах.

1.3. Погрешность от проходного сопротивления плеч

Теоретически измерительный сигнал в трехпроводной схеме включения не зависит от абсолютного значения сопротивлений линий связи, а зависит только от их разности. Однако для выполнения этого условия требуется наличие идеального источника тока в составе вторичного измерительного преобразователя. Реальный источник тока работает

только на ограниченную нагрузку. При увеличении сопротивления цепи датчика выше значения, предусмотренного разработчиком преобразователя, погрешность измерения резко возрастает. К сожалению, практически все изготовители вторичных измерительных преобразователей не нормируют сопротивление линии связи, на которое они рассчитывают свои изделия. Как показали наши эксперименты с продукцией ведущих мировых производителей, значимая погрешность появляется при увеличении сопротивления одной линии связи свыше 30-40 Ом. Если не задаваться проблемами искрозащиты, такое сопротивление вполне достаточно, так как сопротивление реальных линий связи составляет единицы ом. Таким образом, может возникнуть коллизия: барьер сам по себе имеет малую погрешность и измерительный преобразователь сам по себе точный, а, включив их вместе, получаем большую погрешность от их взаимодействия.

БИ-001 имеет нормированное проходное сопротивление плеча – не более 19 Ом.

Т.к. погрешность от проходного сопротивления плеч целиком и полностью зависит от характеристик вторичного измерительного преобразователя, привести методику ее расчета не представляется возможным.

Тем не менее, важно отметить следующий факт: если суммарное сопротивление линии связи и плеча барьера не превышает критического порога для данного конкретного типа вторичных преобразователей, то погрешностью от проходного сопротивления плеча барьера можно пренебречь. Например, для преобразователей Analog Devices 7В таким критическим порогом является значение в 30 Ом.

1.4. Пример расчета погрешности

1.4.1. Исходные данные

- диапазон измерения температуры: $-100^{\circ}\text{C} \dots +100^{\circ}\text{C}$;
- тип датчика: ТСП 100П ($\alpha=1,391$);
- тип вторичного преобразователя: Analog Devices 7В34-01-1;
- сопротивление линии связи: $\leq 1,5$ Ом.

1.4.2. Вычисление погрешности от разбаланса плеч

Определим по таблицам, приведенным в ГОСТ 6651-94, значения R_{\max} и R_{\min} , исходя из заданного диапазона измерения температуры и типа датчика.

Получаем следующие значения $R_{\min} = 59,64$ Ом; $R_{\max} = 139,11$ Ом.

Полученные значения подставляем в формулу 3 и получаем значение приведенной погрешности от разбаланса плеч $\delta_{pn} = 0,03$ %.

1.4.3. Вычисление погрешности от токов утечки

В первую очередь определим падение напряжения на терморезисторе в точке диапазона измерения с максимальным сопротивлением датчика, т.е. в точке $+100^{\circ}\text{C}$. Значение сопротивления термопреобразователя в этой точке нам уже известно, это $R_{\max} = 139,11$ Ом. Значение тока опроса определяется из описания преобразователя Analog Devices 7В34-01-1 $I_0 = 0,25$ мА. Подставим эти значения в формулу 5 и получим падение напряжения $U_x = 35$ мВ.

Теперь определим ток утечки.

Так как падение напряжения меньше 700 мВ, необходимо использовать формулу 6. Подставив в нее значение падения напряжения, получаем $I_{ут} = 0,03$ мкА.

Теперь определим саму погрешность от тока утечки. Подставив все необходимые значения в формулу 4, получаем $\delta_{my} = 0,02$ % .

1.4.4. Вычисление погрешности от проходного сопротивления плеч

Для измерительного преобразователя Analog Devices 7B34-01-1 критическое сопротивление линии связи составляет 30 Ом. Это было установлено опытным путем.

В нашем случае суммарное сопротивление плеча барьера и линии связи не превышает 30 Ом, поэтому погрешностью от проходного сопротивления плеч можно пренебречь. Следовательно, примем значение δ_{pn} равное нулю.

1.4.5. Вычисление суммарной погрешности

Подставим значения всех составляющих погрешности в формулу 1.

Погрешность, вносимая барьером, составляет $\delta = 0,05$ % .

2. Четырехпроводная схема подключения

По сравнению с трехпроводной схемой подключения, четырехпроводная схема подключения термопреобразователя сопротивления к вторичному измерительному преобразователю обеспечивает более существенное снижение погрешности, вызванной влиянием сопротивления соединительной линии. Поэтому погрешностью, вызванной разбалансом плеч барьеров, можно пренебречь. Существует единственное условие, ограничивающее данное утверждение: входное сопротивление вторичного преобразователя должно быть много больше сопротивления линии связи.

Входное сопротивление современных вторичных преобразователей, как правило, на несколько порядков превосходит сопротивление линии связи, следовательно, погрешность от разбаланса плеч барьеров практически всегда исчезающе мала и, соответственно, формула 1 примет вид:

$$\delta = \delta_{my} + \delta_{nc} \quad (8)$$

Погрешность от тока утечки и от проходного сопротивления плеч влияет на результаты измерений так же, как и при трехпроводном подключении. Методика их расчета приведена в пунктах 1.2 и 1.3 соответственно.

