

Гущин П. А.

О НОРМИРОВАНИИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ТЕНЗОРЕЗИСТОРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДАТЧИКОВ

Работа выполнена под руководством к.т.н., проф. Брусенцов Ю. А.

ГТУ, Кафедра «Материалы и технология»

Для тензорезисторных датчиков механических величин, работающих в широком интервале температур, нормирование дополнительной температурной погрешности с помощью линейного температурного коэффициента приводит к значительному искажению результатов измерения. Более правильным является нормирование зоны температурной погрешности в интервале температур, в котором производится термокомпенсация датчиков. Это особенно важно для полупроводниковых тензорезисторных датчиков с нелинейной температурной зависимостью выходного сигнала.

Дополнительная температурная погрешность является важной характеристикой датчиков механических величин, определяющей погрешность их измерения. Поэтому эта величина всегда указывается в числе основных параметров этих датчиков. Большинство производителей нормирует дополнительную температурную погрешность с помощью линейного температурного коэффициента, т.е. в процентах от диапазона изменения выходного сигнала датчика на один или десять градусов Цельсия (или Фаренгейта в англоязычных странах). При этом, как правило, предполагается, что знак температурной погрешности может быть любой, так что обычно она указывается как $\pm\gamma \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$ (или $\pm\gamma \text{ \%}/10^{\circ}\text{C}$). Так рекомендуют нормировать температурную погрешность и нормативные документы МЭК (например, [1]), а вслед за ними российские стандарты (например, [2]).

В настоящей статье рассмотрены недостатки такого метода нормирования дополнительной температурной погрешности датчиков механических величин, особенно явно проявляющиеся в тензорезисторных полупроводниковых датчиках, которые сегодня составляют большинство используемых датчиков давления, силы, параметров движения и т.д. В конкретных примерах используются тензорезисторные датчики давления на основе гетероэпитаксиальных структур "кремний на сапфире" (КНС) [3,4], широко распространенные в России.

Совершенно очевидно, во-первых, что указанное нормирование

имеет смысл только при линейной зависимости выходного сигнала датчика от температуры. Однако линейная аппроксимация температурной зависимости выходного сигнала тензорезисторного датчика с приемлемой степенью точности может быть использована лишь для датчиков с металлическими тензорезисторами и/или в сравнительно небольшом интервале температур. Поскольку для полупроводников характерна сильная и нелинейная зависимость параметров от температуры, то и выходной сигнал полупроводниковых тензорезисторных датчиков, как правило, существенно нелинейно зависит от температуры, что особенно заметно при работе в широком диапазоне температур.

Во-вторых, указанное нормирование фактически дезориентирует потребителя, заставляя его удваивать реальную погрешность измерений. Дело в том, что у конкретных датчиков с линейной температурной зависимостью выходного сигнала наклон этой зависимости имеет вполне определенный знак, так что сигнал может только либо убывать, либо возрастать с температурой. Имея нормирование температурной погрешности в $\%/^{\circ}\text{C}$ с указанием определенной величины и знака, потребитель может реально оценить и учесть погрешность измерения, например, давления, при определенной температуре; однако, если знак не определен, то и неопределенность измерения сильно возрастает.

Сказанное поясняется рис. 1.

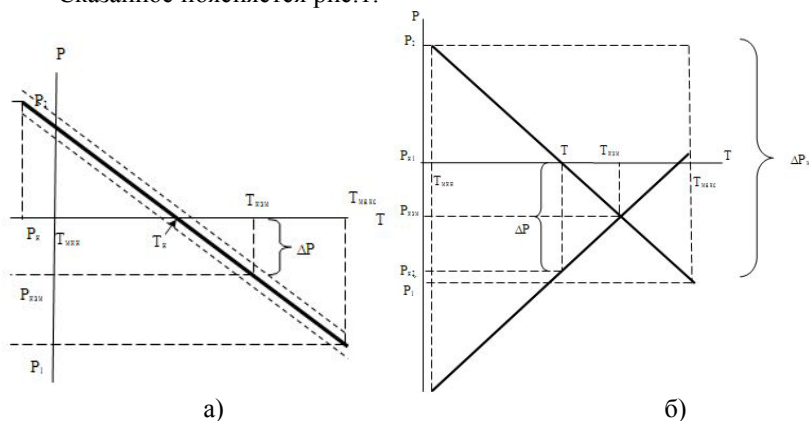


Рис. 1. Температурная погрешность измерения давления при линейной зависимости выходного сигнала датчика от температуры в случае отрицательного (а) и неопределенного (б) знака линейного температурного коэффициента γ .

На рис. 1а показан случай, когда измеряемое давление пропорциональное выходному сигналу датчика) линейно падает с ростом тем-

пературы. В этом случае при известной температуре $T_{изм}$ потребитель может учесть температурную погрешность и привести измеряемое датчиком давление $P_{изм}$ к фактическому давлению P_n , которое нормируется при "нормальной" температуре T_n :

$$P_n = P_{изм} - \gamma * (T_{изм} - T_n), \quad (1)$$

где γ – наклон зависимости $P(T)$ ($\gamma < 0$). Конечно, при этом, как минимум, сохраняется неопределенность фактического давления, определяемая основной погрешностью датчика (полоса, ограниченная штриховыми прямыми на рис.1а).

Совершенно по-другому обстоит дело, когда знак температурной погрешности не определен (рис.1б). В этом случае даже при известной температуре измерения неопределенность измеряемого давления составляет $\Delta P = (P_{n1} - P_{n2})$ даже без учета основной погрешности датчика.

Конечно, если температура измерения неизвестна даже приблизительно, и о ней известно лишь, что она лежит в пределах $(T_{макс} - T_{мин})$ рабочего интервала температур, то результирующая неопределенность измерения давления составляет

$$\Delta P = (P_2 - P_1) = |\gamma| * (T_{макс} - T_{мин}) \quad (2)$$

вне зависимости от того, известен знак коэффициента наклона прямой $P(T)$ или нет. Рассмотрим случай нелинейной температурной зависимости выходного сигнала тензорезисторного преобразователя (ТП). Например, для ТП давления на основе структур КНС, температурный дрейф которых компенсируется схемой с термнезависимыми резисторами, зависимость выходного сигнала от температуры близка к параболической [5]. Аналогичную зависимость имеют кремниевые ТП с диффузионными или имплантированными тензорезисторами. Соответственно измеряемое датчиком с таким ТП давление (пропорциональное выходному сигналу датчика) также нелинейно зависит от температуры (рис.2), если не принимать специальные меры для его дополнительной корректировки в электронной схеме, например, с помощью микропроцессора. В этом случае в соответствии с буквой нормативных документов [1,2], если нормировать температурную погрешность линейным коэффициентом, то необходимо указывать максимальное (по абсолютной величине) значение наклона $\pm \gamma_{макс}$ касательной к параболе (тонкие прямые на рис.2). В результате *нормативную* суммарную температурную погрешность в рабочем интервале температур $T_{макс} \dots T_{мин}$ следует определять по (3):

$$\Delta P_n = (P_2 - P_1) = |\gamma_{\max}| * (T_{\max} - T_{\min}). \quad (3)$$

Очевидно, что эта величина намного превосходит фактическую суммарную температурную погрешность (см. рис.2)

$$\Delta P_{\phi} = (P_n - P_{\min}). \quad (4)$$

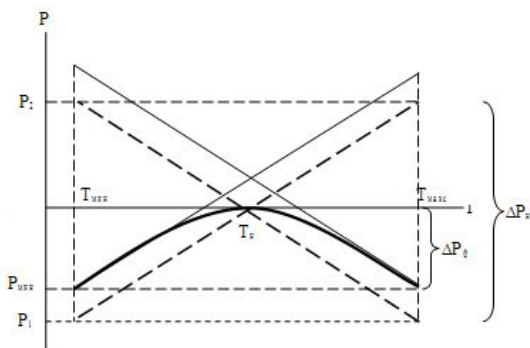


Рис. 2. Определение зоны температурной погрешности измерения давления для датчика с нелинейной температурной зависимостью выходного сигнала:
 ΔP_{ϕ} – фактическая зона температурной погрешности;
 ΔP_n – нормативная зона температурной погрешности при нормировании температурной погрешности линейным коэффициентом температурной зависимости

Отсюда следует, что при нелинейной температурной зависимости выходного сигнала датчика использовать для нормирования дополнительной температурной погрешности измерения линейный температурный коэффициент γ бессмысленно, поскольку в пределах рабочего интервала температур он изменяется по величине и по знаку (в том числе проходя через ноль), а по существующим правилам [1,2] в руководстве по эксплуатации необходимо указывать *максимальное* (по абсолютной величине) значение γ .

Список литературы

1. Методы оценки рабочих характеристик измерительных преобразователей, предназначенных для использования в системах управления промышленными процессами. /Стандарт МЭК, публикация 770.
2. Датчики давления, разрежения и разности давлений с электрическими аналоговыми выходными сигналами ГСП. Общие технические условия. /ГОСТ 22520-85 (СТ СЭВ 4124-83).
3. Стучебников В.М. Тензорезисторные преобразователи на основе гетероэпитаксиальных структур "кремний на сапфире". Измерения, контроль, автоматизация /Н.-т сборник 1982, №4 (44), с.15-26
4. Бушев Е.Е., Николайчук О.Л., Стучебников В.М. Серия микрорезисторных датчиков давления МИДА. Датчики и системы, 200, №1, с.21-27
5. Мартынов Д.Б., Стучебников В.М. Температурная коррекция тензопреобразователей давления на основе КНС. Датчики и системы. 2002, №10, с.6-12.