

*Д. В. Игнатов**
**ОЦЕНКА МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ
 ПРОЦЕССОРНЫХ СРЕДСТВ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ
 ИЗМЕРЕНИЙ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ¹**

Одной из важнейших характеристик качества любого устройства является его надежность. Для средств измерений, и в том числе для процессорных средств (ПрС) теплофизических измерений (ТФИ), особое значение имеет обеспечение их метрологической надежности (МН). Причиной этого является то, что метрологический отказ, в отличие от обычного отказа, является скрытым, обнаруживаемым только при проведении очередной метрологической поверки.

Существует методика оценки МН средств неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов на этапе проектирования, изложенная в [1], основанная на прогнозировании состояния метрологических характеристик (МХ) в определенные моменты времени. Однако данная методика не учитывает влияния внешних по отношению к электрической схеме ПрС ТФИ и комплектующим ее элементам факторов на процесс изменения его МХ. Как известно [2], наиболее значительным из таких факторов является температура, так как она влияет на все без исключения физические процессы в ПрС ТФИ, в том числе и процессы старения, а также на характеристики материалов комплектующих элементов, вызывая температурный дрейф их параметров. Это важно для ПрС ТФИ, часто работающих при повышенных температурах. Поэтому даже ориентировочный учет зависимости изменения МХ от температуры существенно повысит достоверность сведений о МН, получаемых в результате прогнозирования.

В целях совершенствования существующей методики это возможно путем учета влияния температуры на параметры комплектующих элементов и скорость их старения, при проведении моделирования, следующим образом.

Сразу после выпуска параметр элемента имеет значение ξ , находящееся между границами допуска, указанными изготовителем. С течением времени оно изменяется, и становится равным ξ^H .

Учитывая значения температурного коэффициента α параметра i -го элемента и его температуру T можно записать:

$$\xi_i^H(T) = \xi_i(1 + \alpha T_i). \quad (1)$$

В справочной литературе, например [3], для некоторых видов пассивных элементов (резисторов, конденсаторов) указываются минимальная наработка на отказ m_i и максимальное значение относительного изменения параметра ε_ξ за это время. Следовательно, можно ориентировочно учесть старение таких элементов коэффициентом β :

$$\beta = \frac{\varepsilon_\xi}{m_i}, \text{ 1/ч.} \quad (2)$$

Тогда

$$\xi_i^H(t) = \xi_i(1 + \beta_i t), \quad (3)$$

где t – время, прошедшее с момента выпуска ПрС ТФИ, поскольку отрезок времени с момента изготовления элемента до начала эксплуатации ПрС ТФИ учесть весьма сложно

Скорость старения также зависит от температуры элемента. Эту зависимость можно учесть поправочным коэффициентом γ_T – темпом старения элемента с учетом температуры:

$$\xi_i^H(t, T_i) = \xi_i [1 + \beta_i t (1 + \gamma_{T_i} T_i)]. \quad (4)$$

Как показано в [2], при повышении температуры от 20 до 40 °С скорость старения возрастает в 1,4 – 1,6 раза. При использовании среднего значения из этого диапазона, равного 1,5 и применении линейной интерполяции зависимости скорости старения от температуры, $\gamma_T = 0,025 \text{ 1/}^\circ\text{C}$. Поскольку γ_T оценивается относительно нормальных условий, формула (4) примет вид:

$$\xi_i^H(t, T_i) = \xi_i \{1 + \beta_i t [1 + \gamma_{T_i} (T_i - 20)]\}. \quad (5)$$

С учетом выражений (1) и (5) для указанных пассивных элементов можно записать:

$$\xi_i^H(t) = \xi_i \{1 + \beta_i t [1 + \gamma_{T_i} (T_i - 20)]\} (1 + \alpha_i T_i). \quad (6)$$

Используя эту формулу для моделирования параметров комплектующих элементов в указанной методике, можно учесть влияние температуры на состояние МХ ПрС ТФИ, а следовательно, и на их МН.

В качестве примера, рассмотрим определение одного из важнейших показателей МН – метрологического ресурса (МР) типичного аналогового блока ПрС ТФИ – нормирующего преобразователя, электрическая схема которого приведена на рис. 1. В качестве нормируемой МХ принимается относительная погрешность выходной частоты при фиксированном входном напряжении.

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. Т.И. Чернышовой.

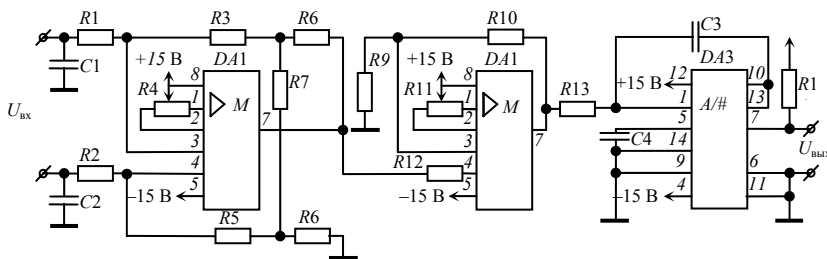


Рис. 1 Нормирующий преобразователь. Электрическая схема

Математическая модель МХ блока имеет вид:

$$\begin{cases} \varepsilon_{\text{НП}}^f = \frac{f^{\text{H}} - f}{f} \\ f(U_{\text{вх}}) = \frac{U_{\text{вх}} \left(\frac{R3 + R6}{R1} + \frac{R3 R6}{R1 R7} \right) \left(1 + \frac{R10}{R9} \right)}{7,5 R13 C4} \end{cases} \quad (7)$$

где $\varepsilon_{\text{НП}}^f$ – относительная погрешность выходной частоты; f – выходная частота, f вычисляется с использованием номинальных значений параметров элементов, а f^{H} – с использованием параметров элементов, полученных в ходе моделирования.

Номиналы элементов:

$$\begin{aligned} R1 &= 24,9 \text{ кОм} \pm 5 \% & R9 &= 40,2 \text{ кОм} \pm 5 \% \\ R3 &= 249 \text{ кОм} \pm 5 \% & R10 &= 182 \text{ кОм} \pm 5 \% \\ R6 &= 10 \text{ кОм} \pm 5 \% & R13 &= 40,2 \text{ кОм} \pm 2 \% \\ R7 &= 1 \text{ кОм} \pm 5 \% & C4 &= 300 \text{ пФ} \pm 2 \% \end{aligned}$$

Закон распределения параметров элементов предполагается нормальным на основании общих свойств естественных процессов старения и износа. Используются резисторы С2-50 и конденсаторы КМ-6 с минимальной наработкой на отказ $m_t = 15\,000$ ч, и относительным изменением сопротивления и емкости за это время $\varepsilon_R = 0,05$ и $\varepsilon_C = -0,05$. Коэффициент старения резисторов β_R и конденсаторов β_C , согласно (6), равен, соответственно $3,333 \cdot 10^{-6}$ 1/ч и $-3,333 \cdot 10^{-6}$ 1/ч. Температурный коэффициент изменения сопротивления резисторов равен 10^{-4} 1/°C, а емкости конденсаторов $-4,7 \cdot 10^{-5}$ 1/°C.

Входное напряжение $U_{\text{вх}} = 5$ мВ.

В самой схеме сильного выделения тепла не происходит, поэтому все элементы находятся при температуре окружающей среды. Диапазон средних температур, при которых происходит функционирование нормирующего преобразователя – от +20 до +50 °C.

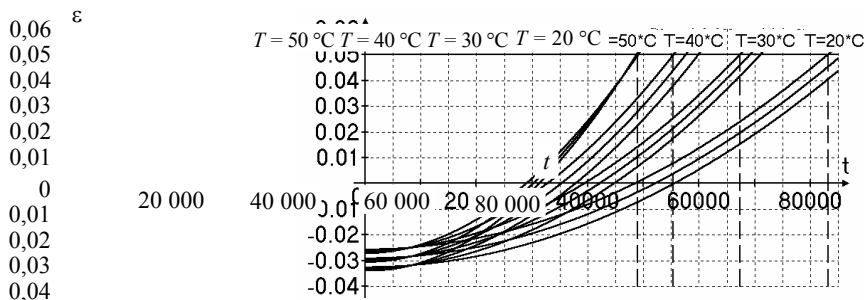


Рис. 2 Совмещенный график кривых, аппроксимирующих зависимости $M_e(t)$ и $M_e(t) \pm 3\sigma_\varepsilon$ при разных температурах

Моделирование МХ проводилось по методике [1], с учетом влияния температуры на параметры пассивных элементов в соответствии с формулой (6).

В результате проведенного вычислительного эксперимента были получены данные о зависимостях математического ожидания $M_e(t)$ и границ разброса $M_e(t) \pm 3\sigma_\varepsilon$ МХ от времени при разных температурах.

На рис. 2 приведен совмещенный график кривых, аппроксимирующих указанные зависимости при разных температурах. Аппроксимация проводилась полиномами 2-й степени. Экстраполяция – до пересечения с границей допустимого отклонения МХ $\delta_{\text{доп}} = 0,05$.

На графиках (рис. 2) четко прослеживается зависимость МР, а следовательно и МН, от температуры. С доверительной вероятностью $P = 0,997$ МР составляет приблизительно 83 000 ч, 67 000 ч, 55 000 ч и 48 000 ч при температурах 20, 30, 40 и 50 °C соответственно.

Таким образом, представляется возможным учесть влияние температуры на параметры пассивных элементов и процесс их старения при решении задач, связанных с оценкой МН проектируемых ПрС ТФИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Мищенко С.В., Цветков Э.И., Чернышова Т.И. Метрологическая надежность измерительных средств. М.: Машиностроение-1, 2001. 96 с.
- 2 Новицкий П.В., Зограф И.А., Лабунец В.С. Динамика погрешностей средств измерений. Л.: Энергоатомиздат, 1990. 192 с.

3 Резисторы: Справочник / Под ред. И.И. Четверткова. М.: Энергоиздат, 1981. 352 с.

Кафедра «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем»