

В.Ф. Новиков (ГП "ГосККБ "Луч", Украина),  
В.П. Квасников д.т.н., профессор (Национальный авиационный университет, Украина)

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОГРЕШНОСТИ ПРИБОРА СИСТЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ИНИЦИИРОВАНИЯ В СОСТАВЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Электрические средства инициирования (ЭСИ) широко применяются в системах автоматического пожаротушения помещений банков, библиотек, складов, энергетических установок на судах и в составе другого промышленного оборудования. ЭСИ в этом оборудовании используется в качестве исполнительного элемента высокого быстродействия, обеспечивающего незамедлительное включение системы пожаротушения.*

Погрешность прибора систем функциональной диагностики ЭСИ обусловлена отклонениями ее определяющих параметров от номинальных значений вследствие воздействия дестабилизирующих факторов. К определяющим параметрам относятся контролируемые параметры входных и выходных сигналов системы. При этом номинальные значения каждого радио- и электроэлемента и их отклонения относятся к учитываемым параметрам радио- и электроэлемента. Для расчета погрешности прибора при нормальном законе распределения погрешности необходимы следующие исходные данные: условия эксплуатации системы; показатели долговечности системы (средний ресурс и средний срок службы); номинальные значения определяющих параметров системы и заданный предел допускаемой относительной или абсолютной погрешности; номинальные значения учитываемых параметров; отклонения учитываемых параметров при производстве, изменении температуры окружающей среды, старении, пайке и пр.; функции зависимости определяющих параметров системы от учитываемых параметров (т.е. от параметров комплектующих элементов) описываются выражением

$$Q = \varphi(q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n), \quad (1)$$

где  $Q$  – определяющий параметр системы;  $q_i$  – учитываемый параметр  $i=1 \dots n$  – количество учитываемых параметров.

Методическая погрешность системы обусловлена отличием расчетных значений определяющих параметров по функции (1) от заданных номинальных значений определяющих параметров.

Расчетные значения определяющих параметров системы по функции (1) рассчитываются при номинальных значениях учитываемых параметров.

Приращение функции (1) в зависимости от приращения аргументов  $q_1, q_2, \dots, q_n$  в небольших пределах определяется по методу линеаризации, т.е. разложения функции в ряд Тейлора и ограничения ряда первыми двумя членами. При этом суммирование превращений аргументов проводится с учетом того, что постоянные систематические погрешности суммируются алгебраически (с учетом знаков погрешностей); характеристики переменных систематических и случайных погрешностей (средние квадратические отклонения, пределы допустимых погрешностей) суммируются по квадратической сумме, а также с учетом коэффициентов  $A_s, B_i, C_i$  или  $D_i$ .

Коэффициент  $A_s$  – влияния относительного приращения аргумента (учитываемого параметра) на вызванное им относительное приращение функции (1) определяется по формуле:

$$A_i = \left( \frac{dQ}{dq_i} \cdot \frac{q_i}{Q} \right)_0 .$$

Индекс «0» означает, что вычисления проводятся при номинальных значениях аргументов и параметра  $Q$ .

Коэффициент  $B_i$  – влияние абсолютного приращения аргумента на вызванное им абсолютное приращение функции (1) определяется по формуле:

$$B_i = \left( \frac{dQ}{dq_i} \right)_0 .$$

Коэффициент  $C_i$  – влияние абсолютного приращения аргумента на относительное приращение функции (1) определяется по формуле:

$$C_i = \left( B_i \cdot \frac{1}{Q} \right)_0 .$$

Коэффициент  $D_i$  – влияние относительного приращения аргумента на абсолютное приращение функции (1) определяется по формуле:

$$D_i = (B_i \cdot q_i)_0 .$$

Погрешность системы определяется отклонениями его определяющих параметров от номинального значения. Предел допустимого относительного отклонения  $\delta Q$  параметра  $Q$  определяется по формуле:

$$\delta Q = \left| \sum_{i=1}^n (A_i \sum_{j=1}^m \delta q_{ij}') \vee (C_i \sum_{j=1}^m \Delta q_{ij}') + \sum_{l=1}^N \delta Q_{np,l}' \right| + \sqrt{\sum_{i=1}^n (A_i^2 \sum_{j=1}^m K_{ij}^2 \delta q_{ij}''^2) \vee (C_i^2 \sum_{j=1}^m K_{ij}^2 \Delta q_{ij}''^2) + \sum_{l=1}^N K_l^2 \delta Q_{np,l}''^2} , \quad (2)$$

где  $j$  – порядковый номер дестабилизирующего фактора;  $m$  – количество дестабилизирующих факторов;  $\delta q_{ij}', \Delta q_{ij}'$  – соответственно постоянная систематическая составляющая относительного и абсолютного отклонения  $i$ -го учитываемого параметра при воздействии  $j$ -го дестабилизирующего фактора;  $\delta q_{ij}'', \Delta q_{ij}''$  – соответственно предел допустимой переменной систематической либо случайной составляющей относительного и абсолютного отклонения  $i$ -го учитываемого параметра при воздействии  $j$ -го дестабилизирующего фактора;

$l$  – порядковый номер прочих частных погрешностей системы;  $N$  – количество прочих частных погрешностей системы;  $\delta Q_{np,l}'$  – постоянная систематическая составляющая  $l$ -й относительной погрешности;  $\delta Q_{np,l}''$  – предел допускаемой переменной систематической либо случайной составляющей  $l$ -й относительной погрешности;  $\vee$  – логический знак «или».

Предел допустимого абсолютного отклонения  $\Delta Q$  параметра  $Q$  определяется по формуле:

$$\Delta Q = \left| \sum_{i=1}^n (B_i \sum_{j=1}^m \Delta q_{ij}') \vee (D_i \sum_{j=1}^m \delta q_{ij}') + \sum_{l=1}^N \Delta Q_{np,l}' \right| + \sqrt{\sum_{i=1}^n (B_i^2 \sum_{j=1}^m K_{ij}^2 \Delta q_{ij}'^2) \vee (D_i^2 \sum_{j=1}^m K_{ij}^2 \delta q_{ij}'^2) + \sum_{l=1}^N K_l^2 \Delta Q_{np,l}'^2} , \quad (3)$$

где  $\Delta Q_{np,l}'$  – постоянная систематическая составляющая  $l$ -й абсолютной погрешности;  $\Delta Q_{np,l}''$  – предел допускаемой переменной систематической либо случайной составляющей  $l$ -й абсолютной погрешности.

Если полученное в результате расчета значение  $\delta Q$  или  $\Delta Q$  не удовлетворяет установленным требованиям (превышает установленный допуск параметра  $Q$ ), то рассматриваются варианты изменений конструкции устройства (например, замены комплектующих изделий), обеспечивающих выполнение этих требований.

В качестве примера расчета определим погрешность коэффициента преобразования делителя напряжения, схема которого приведена на рис. 1.

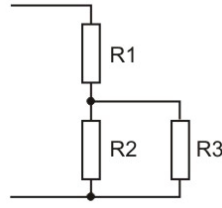


Рис. 1. Схема делителя напряжения

В качестве комплектующих электроэлементов использованы следующие сопротивления:

R1 – резистор ПТМН-0,5-2 кОм ± 0,5 %,

R2 – резистор ПТМН-0,5-1 кОм ± 0,5 %,

R3 – сопротивление нагрузки, R3 = 50 кОм ± 20 %.

Функция зависимости коэффициента преобразования делителя (определяющий параметр) от учитываемых параметров электроэлементов имеет вид:

$$K = \frac{R2 \cdot R3}{R1 \cdot R2 + R1 \cdot R3 + R2 \cdot R3}.$$

Коэффициент влияния сопротивления резистора R1 на коэффициент преобразования равен:

$$A_{R1} = \left[ \frac{dK}{dR1} \cdot \frac{R1}{K} \right]_0 = \frac{-R1(R2 + R3)}{R1 \cdot R2 + R1 \cdot R3 + R2 \cdot R3} = -\frac{2(1 + 50)}{2 \cdot 1 + 2 \cdot 50 + 1 \cdot 50} = -0,67.$$

Коэффициент влияния сопротивления резистора R2 на коэффициент преобразования равен:

$$A_{R2} = \left[ \frac{dK}{dR2} \cdot \frac{R2}{K} \right]_0 = 1 - \frac{R2(R1 + R3)}{R1 \cdot R2 + R1 \cdot R3 + R2 \cdot R3} = 1 - \frac{1(2 + 50)}{2 \cdot 1 + 2 \cdot 50 + 1 \cdot 50} = 0,67.$$

Коэффициент влияния сопротивления резистора R3 на коэффициент преобразования равен:

$$A_{R3} = \left[ \frac{dK}{dR3} \cdot \frac{R3}{K} \right]_0 = 1 - \frac{R3(R1 + R2)}{R1 \cdot R2 + R1 \cdot R3 + R2 \cdot R3} = 1 - \frac{50(2 + 1)}{2 \cdot 1 + 2 \cdot 50 + 1 \cdot 50} = 0,013.$$

Производственная погрешность коэффициента преобразования равна:

$$dK^{\Pi} = \frac{1}{2} \left[ 0,67 \cdot 0,5 + 0,67 \cdot 0,5 + 0,013 \cdot 20 + \sqrt{(0,67 \cdot 0,5)^2 + (0,67 \cdot 0,5)^2 + (0,013 \cdot 20)^2} \right] = 0,73\%.$$

Для определения температурной погрешности воспользуемся данными, приведенными в таблице 1.

Таблица 1

Погрешности параметров резисторов типа ПТМН

Тип резистора	Параметр q	Производственная погрешность dq <sup>П</sup> , %	Температурная погрешность, %				Погрешность старения, %		Ограничения
			при - 10 °С		при + 65 °С		dq <sup>τ</sup> <sub>0</sub>	dq <sup>τ</sup> <sub>c</sub>	
			dq <sup>t</sup> <sub>0</sub>	dq <sup>t</sup> <sub>c</sub>	dq <sup>t</sup> <sub>0</sub>	dq <sup>t</sup> <sub>c</sub>			
ПТМН-0,5	R	0,5 (по ТУ)	0,00	0,35	0,00	0,40	0,00	0,80	Сопр., Ом, ≤ 62 Сопр., Ом, > 62
			0,00	0,53	0,00	0,60	0,00	0,80	

Тогда температурная погрешность при t = 65 °С равна

$$dK^t = dK^t_c = \sqrt{(0,67 \cdot 0,6)^2 + (0,67 \cdot 0,6)^2} = 0,57\%,$$

а температурная погрешность при t = - 10 °С равна:

$$dK^t = dK_c^t = \sqrt{(0,67 \cdot 0,53)^2 + (0,67 \cdot 0,53)^2} = 0,50\% .$$

Следовательно, наибольшая погрешность  $dK^t = 0,57\%$ .

Для определения погрешности старения  $dK^\tau$  также воспользуемся данными, приведенными в таблице 1. Тогда погрешность старения равна:

$$dK^\tau = dK_c^\tau = \sqrt{(0,67 \cdot 0,8)^2 + (0,67 \cdot 0,8)^2} = 0,75\% .$$

Суммарная погрешность коэффициента преобразования равна:

$$dK_\Sigma = \frac{0,73}{2} + \sqrt{\left(\frac{0,73}{2}\right)^2 + (0,57)^2 + (0,75)^2} = 1,37\% .$$

При сравнении суммарной погрешности коэффициента преобразования с производственной погрешностью резисторов ПТМН, используемых в делителе напряжения, следует отметить, что суммарная погрешность коэффициента преобразования  $dK_\Sigma \approx 3 \cdot dq^{\text{II}}$ .

### Выводы

1 Предложена методика расчета погрешности проектируемых электрических и электронных схем функциональных узлов и приборов.

2 Приведена формула функциональной зависимости погрешности коэффициента преобразования от производственной погрешности комплектующих элементов.

### Список литературы

- 1 *Белоконь Р.Н.* Об одном способе суммирования энтропийной погрешности / Р.Н. Белоконь, В.Н. Никольский // Общество «Знание» Украинской ССР, Методы исследования и обеспечения высокой точности и надежности современных приборов. – К., 1973.
- 2 *Белоконь Р.Н.* Статистические методы повышения достоверности контроля / Р.Н. Белоконь, В.Г. Кендель, А.М. Кузнецов – В книге «Вопросы обеспечения качества и надежности информационных систем». – К.: «Знание», 1977, С. 17.
- 3 *Белоконь Р.Н.* Оценка показателей достоверности контроля при многократной проверке с отбраковкой / Р.Н. Белоконь, А.М. Кузнецов, В.С. Новиков – В книге «Стабильность и надежность информационных устройств и систем». – К.: «Техніка», 1974, С. 7 – 10.
- 4 *Доценко Б.И.* Синтез характеристик измерителей систем диагностики / Б.И. Доценко // Надежность в приборостроении и радиоэлектронике. – К.: «Знание», 1974. – С. 31 – 32.
- 5 *Дунаев Б.Б.* Точность измерения при контроле качества / Б.Б. Дунаев. – К.: «Техника», 1981, С. 150.