АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНООСТЕЙ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗОНДОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Рахманов Анваржон Тожибоевич
Доктор технических наук, профессор кафедры «Метрология, техническое регулирование, стандартизация и сертификация» Ташкентского государственного технического университета им. Ислама Каримова
https://doi.org/10.5281/zenodo.24483743

Аннотация. Проведенные исследования и расчеты показывают, что изменения геометрических и электрических параметров ЗПП на 10% приводят к снижению вероятности согласия до 0,55-0,68. Нелинейность и систематическая составляющая погрешности ЗПП также могут влиять на значение вероятностей для категорий точности, т.к. при этом наблюдается отклонение статической характеристики ЗПП от номинальной, что приводит к флуктуации межцепных функций $k_1(I_1,U_i)$, $k_2(I_1,I_i)$, особенно потокопроводящих элементов $k_3[x_{вх},k_4(U_i,U_2)]$, $k_5[x_{вх},k_6(I_i,U_1)]$ и снижению точности преобразования входного параметра. Однако эти погрешности являются лимитирующими.

Ключевые слова: межцепная функция, нелинейность, вероятность согласия, номинальная характеристика.

Особенности анализа и синтеза элементов систем управления и вычислительной техники на базе преобразователей различной физической природы заключаются, с одной стороны, в необходимости раскрытия взаимодействия цепей различной физической природы, а с другой-в необходимости учета пространственного распределения параметров этих цепей, а также выявления источников погрешностей и их распределения.

Ниже рассматривается распределение погрешностей зондового полупроводникового преобразователя (ЗПП) температуры дисперсных сред и минерализованных вод на основе вероятностных характеристик. Для оценки характеристик проанализированы фактические результаты измерений, изготовленных ЗПП, распределение которых по измерению температуры приведено в табл.1.

Погрешность ЗПП зависит от многих причин, имеющих случайный характер, от сечения электродов, физических свойств их материалов, температуры окружающей среды, напряжения питания, погрешностей вспомогательного и измерительного устройств. Следовательно, погрешность

Таблица 1

Количество испытуемых ЗПП температуры

Температура, ^{0}C	2	5	7	10	12	15	17	20
Количество преобразователей температуры	6	9	24	21	8	12	28	104

ЗПП температуры является системой случайных величин [1, 2].

Вероятность соответствия составляющей погрешности ЗПП температуры категории точности определяется зависимостью

$$P_i = P\left(C_{hi} \le \eta_i \le C_{bi}\right), \quad (1)$$

где C_{hi}, C_{bi} -соответственно нижнее и верхнее допустимые значения погрешности ЗПП температуры.

По результатам испытаний ЗПП определены эмпирические распределе-ния погрешностей. Анализ полученных эмпирических функций распределе-ния дает возможность выравнивания по теоретическим законам: нормаль-ному, равномерному, бета-распределению, гамма-распределению, хи-квадрат распределению, логарифмически-нормальному, Вейбулла, Релея Стьюдента, экспоненциальному, Максвелла и Лапласа [3].

Для выбора теоретического распределения использованы критерии согласия Колмогорова-Смирнова. В табл.2 приведены виды закона наилуч-шего согласия, параметры распределения и вероятность согласия.

Количественная оценка вероятности установлена с помощью точечной оценки и нижней доверительной границы, которая описывается уравнением для составляющей погрешности ЗПП температуры

$$P = 1 - \frac{q}{N}, \quad (2)$$

где q -количество ЗПП, у которых составляющая погрешности не соответ-ствует допускаемым значениям; N -количество испытуемых ЗПП.

Нижняя доверительная граница для вероятности P_h определена по таблицам и описывается выражением [4],

$$P_h = f_1(N, d, q), \quad (3)$$

где f_1 -квантиль бета-распределения.

Следует отметить, что ЗПП имеют определённую точность измерения, поэтому испытуемые ЗПП следует отнести к соответствующей категории точности. При этом все составляющие погрешности должны соответствовать допускаемым значениям для этой категории точности. Следовательно, вероятность соответствия ЗПП категории точности

$$P_n = P\left[\prod_{i=1}^{m}\left(C_{hi} \le \eta_i \le C_{bi}\right)\right], \quad (4)$$

где m - составляющие погрешности ЗПП.

Табличное t-значение распределения Стьюдента для N - m степеней свободы и уровня значимости 0,01 равно 1,6. В табл. 3 приведены частные коэффициенты

корреляции с t - значением. Как видно, более тесная зависи-мость наблюдается между гистерезисом и средней квадратичной ошибкой.

Для простоты расчета ЗПП температуры будем рассматривать не как систему, а как элемент, и оценивать вероятность соответствия его категории

Таблица 2

Законы и параметры распределения

Погрешность	Закон распределения	Параметры распределения		Вероятность согласия
		a	b	
Систематическая, η_c	Нормальный	-0,00398	0,0431	0,0003
Гистерезис, η_h	Релея	-	0,0201	0,0004
СКО, η_δ	Логарифмический	-6,12	0,932	0,56
Нелинейность, $\eta_{нел}$	Нормальный	0,0311	0,0392	0,02

точности по формулам (2) и (3). Вероятность появления флуктационных процессов во время функционирования исследуемых ЗПП температуры приведена к минимуму из-за однотипности конструктивных особенностей, т.к. величины категории точности, вычисленные по вышеуказанным формулам, максимально приблизились к истинному.

Таблица 3

Частные коэффициенты корреляции

Обозначение погрешности	η_h	η_δ	$\eta_{нел}$
η_c	0,28	0,11	- 1,49
η_h	-	4,72	- 0,51
η_δ	-	-	- 1,13

Вычисленные значения P и P_i при доверительной вероятности 0,9 для соответствующих погрешностей и ЗПП в соответствии с (2) и (3) приведены в табл.4. Табличные данные показывают, что в основном большинство ЗПП (93,4%) соответствует категории точности 0,04-0,1. Для категории точности 0,02-0,04 максимальное значение вероятности согласия к системам η_h и η_δ, соответственно, составляет 0,825-0,962, а также к системам η_h, η_δ 0,481-0,891, а для $\eta_c, \eta_h, \eta_\delta, \eta_{нел}$ значение вероятности согласия составляет всего лишь 0,119-0,321.

Таблица 4

Значение вероятностей для категорий точности

Системы	Значение вероятностей для категорий точности						
	0,02	0,04		0,06		0,1	
	P	P	P_i	P	P_i	P	P_i
η_c	0,089	0,324	-	0,598	-	0,988	0,981

η_h	0,514	0,921	0,912	0,978	0,971	0,990	0,982
η_δ	0,826	0,962	0,928	0,967	0,952	0,996	0,986
$\eta_{нел}$	0,324	0,544	-	0,678	-	0,949	0,941
η_h, η_δ	0,481	0,891	-	0,954	0,964	0,978	0,968
$\eta_h, \eta_\delta, \eta_{нел}$	0,112	0,498	-	0,725	-	0,938	0,921
$\eta_c, \eta_h, \eta_\delta, \eta_{нел}$	0,119	0,321	-	0,521	-	0,945	0,934

На категории точности ЗПП концентрации существенно могут влиять конструктивные особенности, связанные с геометрическими параметрами, а также точности изготовления преобразующих элементов, в конечном итоге, приводящие к нелинейности выходных характеристик ЗПП температуры.

Проведенные исследования и расчеты показывают, что изменения геометрических и электрических параметров ЗПП на 10% приводят к снижению вероятности согласия до 0,55-0,68.

Нелинейность и систематическая составляющая погрешности ЗПП также могут влиять на значение вероятностей для категорий точности, т.к. при этом наблюдается отклонение статической характеристики ЗПП от номинальной, что приводит к флуктуации межцепных функций $k_1(I_1, U_i)$, $k_2(I_1, I_i)$, особенно потокопроводящих элементов $k_3[x_{вх}, k_4(U_i, U_2)]$, $k_5[x_{вх}, k_6(I_i, U_1)]$ и снижению точности преобразования входного параметра. Однако эти погрешности являются лимитирующими.

Литература

1. Рахманов А.Т. Анализ характеристик оптимального и квазиоптимального фильтров измерительных систем зондовых параметрических преобразователей//Вестник ТУИТ.-2011.-№ 1-2.-С.32.
2. Джексон Р.Г. Новейшие датчики.-М.: Техносфера, 2007.-384 с.
3. Пулатова М. Теория эллиптических интегралов в работах Лежандра// Вестник ТашГТУ.-2010.-№ 3.-С.28.
4. Рахманов А.Т., Рашидов А.А. Надежность интегральных схем измерительных преобразователей по отношению к параметрическим отка-зам//Химическая технология. Контроль и управление.-2012.-№ 2.-С.56-60.
5. Эгамбердиев Б.Э., Бахадырханов М.С., Насриддинов С.С. Нанострук-турные полупроводниковые терморезисторные датчики: Монография.-Ташкент: ТашГТУ, 2013.-200 с.