

2. Гречишников В.М., Гречишников С.В. Обобщенная математическая модель цифровых преобразователей перемещений и методы ее анализа [Текст] / Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Физико-математические науки». - Самара: изд-во СамГТУ. - 2008, вып.6. - С.11-119.

3. Гречишников В.М. Метрология и радиоизмерения [Текст]: учеб. Пособие / В.М.Гречишников. - Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та. - 2007. - 160с : ил.

СПОСОБ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБОБЩЕННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

В.М. Гречишников, А.А.Юдин, О.Ю.Борисов

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Достоверность аналого-цифрового преобразования относится к числу интегральных показателей точности цифровых преобразователей перемещений (ЦПП), характеризующих степень соответствия метрологических характеристик реального m - разрядного преобразователя метрологическим характеристикам идеального n - разрядного квантователя. Задача оценки достоверности часто возникает как на этапе формирования прогнозных оценок достоверности вновь разрабатываемых конструкций ЦПП, так и на этапе метрологической аттестации реальных преобразователей на различных стадиях их экспериментальной доводки – от макетных образцов до серийных изделий. С математической точки зрения под достоверностью преобразования понимается вероятность того, что суммарная погрешность преобразования не выходит за пределы $\pm 0,5\Delta$ [1].

$$P = \int_{-0,5\Delta}^{+0,5\Delta} f(\Delta_{\Sigma}) d\Delta_{\Sigma}, \quad (1)$$

где Δ - шаг квантования ЦПП, $f(\Delta_{\Sigma})$ - плотность распределения суммарной погрешности на выходе преобразователя.

В общем случае $f(\Delta_{\Sigma}) = f(\Delta_{мет}) * f(\Delta_{ин})$ - композиция плотности распределения методической погрешности квантования $\Delta_{мет}$ и инструментальной погрешности $\Delta_{ин}$. Из (1) следует, что достоверность преобразования по существу определяет значение доверительной вероятности нахождения суммарной погрешности в доверительном интервале $\pm \Delta$.

Для идеального квантователя плотность распределения инструментальной погрешности можно представить в виде δ - функции

$$f(\Delta_u) = \begin{cases} 1 & \text{при } \Delta_u = 0 \\ 0 & \text{при } \Delta_u \neq 0 \end{cases} \quad (2)$$

поэтому $f(\Delta_{\Sigma u}) = f(\Delta_{\kappa \sigma})$. Из теории аналого-цифрового преобразования известно [1,3], что $\Delta_{\kappa \sigma}$ подчинена равномерному закону на интервале $\pm 0,5\Delta$, откуда следует, что достоверность любого идеального кантователя равна 1. Поэтому основной задачей в процессе теоретической оценки достоверности является поиск и обоснование аналитического выражения для $f(\Delta_u)$. Ввиду сложности данной задачи многие исследователи принимают закон распределения Δ_u нормальным, числовые характеристики которого устанавливают на основании априорной информации, приводимой в справочной литературе [1]. Однако такой подход не отражает в должной мере внутренних механизмов формирования и случайного внешнего проявления инструментальной погрешности, что приводит к низкой надежности получаемых оценок достоверности преобразования.

В связи с этим рассмотрим новый подход к оценке достоверности, основанный на использовании обобщенной математической модели аналого-цифрового преобразования, позволяющий перейти от рассмотрения многоуровневого цифрового сигнала на выходе ЦПП к анализу аналогового квантованного сигнала с эквивалентными информационными и метрологическими свойствами. Согласно данному подходу числовой эквивалент измеряемого сигнала на выходе любого АЦП равен:

$$N(x) = \sum_{i=0}^n a_i(x) q_i, \quad (3)$$

где $a_i(x)$ - значения разрядных цифр выходного кода, представляющие собой логические функции непрерывного аргумента - измеряемой величины x , $a_i(x) = \overline{0,1}$, q_i - значение весового коэффициента, n - число разрядов преобразователя.

Методику построения модели рассмотрим на примере оптоэлектронного преобразователя перемещений со встроенной волоконно - оптической линией связи (ВОЦПП). Для таких преобразователей значения разрядных цифр $a_i(x)$ кодовых комбинаций могут быть определены на основе частных математических моделей, отображающих наиболее существенные энерго - информационные процессы в ОЦПП: $P_{изл}$ - модель генерации излучения, η_f - модель передачи излучения по ВОЛС, $f_{мг}$ - функции пространственной модуляции оптических сигналов, $S_{рj}$ - модель

фотоэлектрического преобразования, а также модели масштабирования K_y , аналого-цифрового V_j и логического преобразования электрических сигналов F_i , используемых при формировании разрядных цифр выходного кода. Реализация такого подхода в общем виде сводится к следующему [3].

Пусть $R_\alpha^{n_\alpha}$ — действительные пространства конструктивных и схемотехнических параметров (далее — параметров) отдельных функциональных элементов ВОЦПП, причем каждое из этих пространств имеет свою размерность n_α , $\alpha = (p, \eta, f, S, k, u, v, F)$ — индексы пространств, точки которых являются аргументами указанных выше частных математических моделей. Выделим области $D_\alpha^0 \subseteq R_\alpha^{n_\alpha}$ и $D_\alpha \subseteq R_\alpha^{n_\alpha}$ и точки $\mathbf{c}_\alpha^0 \in D_\alpha^0$ и $\mathbf{c}_\alpha \in D_\alpha$, координатами которых являются наборы номинальных $(c_{\alpha 1}^0, c_{\alpha 2}^0, \dots, c_{\alpha j}^0, \dots, c_{\alpha n_\alpha}^0)$ и реальных $(c_{\alpha 1}, c_{\alpha 2}, \dots, c_{\alpha j}, \dots, c_{\alpha n_\alpha})$ параметров, соответствующих идеальному и реальному ВОЦПП. Разности координат $\Delta c_{\alpha i} = c_{\alpha i}^0 - c_{\alpha i}$ представляют собой отклонения параметров от номинальных значений, являющихся следствием влияния инструментальных погрешностей и внешних факторов. Совокупность отклонений $(\Delta c_{\alpha 1}, \Delta c_{\alpha 2}, \dots, \Delta c_{\alpha j}, \dots, \Delta c_{\alpha n_\alpha})$ будем рассматривать как координаты точек $\Delta \mathbf{c}_\alpha \in \Delta D_\alpha \subseteq R_\alpha$.

С учетом введенных обозначений математическая модель формирования аналогового электрического сигнала на выходе j -го фотоусилителя получена в виде:

$$u_j(x, \mathbf{c}_\alpha^0, \Delta \mathbf{c}_\alpha) \Big|_{\alpha \neq v} = P_{uv}(c_p^0, \Delta c_p) \eta_j(c_\eta^0, \Delta c_\eta) S_{pj}(c_s^0, \Delta c_s) \times K_{vj}(c_k^0, \Delta c_k) \times f_{mj}(x, c_f^0, \Delta c_f) + u_{0j}(c_u^0, \Delta c_u). \quad (4)$$

Математическая модель процесса аналого-цифрового преобразования (компарирования) сигналов может быть задана единичными функциями вида:

$$V_j(x, \mathbf{c}_\alpha^0, \Delta \mathbf{c}_\alpha) = e[\Delta u_j] = \begin{cases} 1 & \text{при } \Delta u_j \geq 0 \\ 0 & \text{при } \Delta u_j < 0 \end{cases}, \quad (4)$$

где $\Delta u_j = u_j(x, \mathbf{c}_\alpha^0, \Delta \mathbf{c}_\alpha) - u_{\pi j}(c_{j\pi}^0, \Delta c_{j\pi})$, $u_{\pi j} = const$ — порог срабатывания j -го компаратора. Если сигналы V_j формируются на основе

взаимного сравнения j -го и m -го сигналов, то $\Delta u_{j,m} = u_j(x, \mathbf{c}_\alpha^0, \Delta \mathbf{c}_\alpha) - u_m(x, \mathbf{c}_\alpha^0, \Delta \mathbf{c}_\alpha)$, $(j, m) \in N$.

В результате выполнения операций аналого-цифрового преобразования формируются упорядоченные наборы дискретных сигналов $V = (V_1, V_2, \dots, V_k) \in M_V$ (M_V — множество таких наборов), которые используются в качестве аргументов функций F_i , отображающих логический алгоритм формирования i -го разряда выходного кода. С учетом сказанного обобщенная математическая модель реального ВОЦПП получена в виде:

$$N_p(x) = \sum_{i=1}^n F_i[V(x, \mathbf{c}_\alpha^0, \Delta \mathbf{c}_\alpha)] q_i. \quad (5)$$

Полагая в (5) $\Delta \mathbf{c}_\alpha = 0$, получим для идеального ВОЦПП:

$$N_u(x) = \sum_{i=1}^n F_i[V^0(x, \mathbf{c}_\alpha^0)] q_i, \quad (6)$$

где $V^0 = (V_1^0, V_2^0, \dots, V_k^0) \in M_V$ — наборы выходных сигналов идеальных компараторов. В частном случае, когда $q_i = 2^i$, уравнения (5) и (6) представляют собой обобщенные математические модели ВОЦПП, вырабатывающих выходные коды в двоичной системе счисления.

В нормальных условиях для каждого отдельного кванта инструментальная погрешность рассматривается как систематическая, а по всему множеству квантов (во всем диапазоне измерения) — как случайная величина. График функции преобразования идеального квантователя показан на рис.1,а сплошной жирной линией, а функция преобразования реального ВОЦПП ($\Delta \mathbf{c}_\alpha \neq 0$) показана пунктиром. График суммарной погрешности преобразования, найденный как

$$\Delta N_2 = N_p(x) - x \quad (7)$$

приведен на рис. 1,в. Из графика видно, что она может значительно превышать (для некоторых типов АЦП - в несколько раз) значение методической погрешности идеального n - разрядного квантователя, которое не превышает $\pm 0,5$ кванта (рис.1,б)

$$\Delta N_1 = N_p(x) - x. \quad (8)$$

Если максимальное значение суммарной погрешности превышает значение шага квантования, то это приводит к недостоверности младшего разряда и потере одного бита информации на выходе ВОЦПП. Поскольку суммарная погрешность является случайной величиной, то не все ее

значения выходят за границы интервала $\pm 0,5$ кванта.

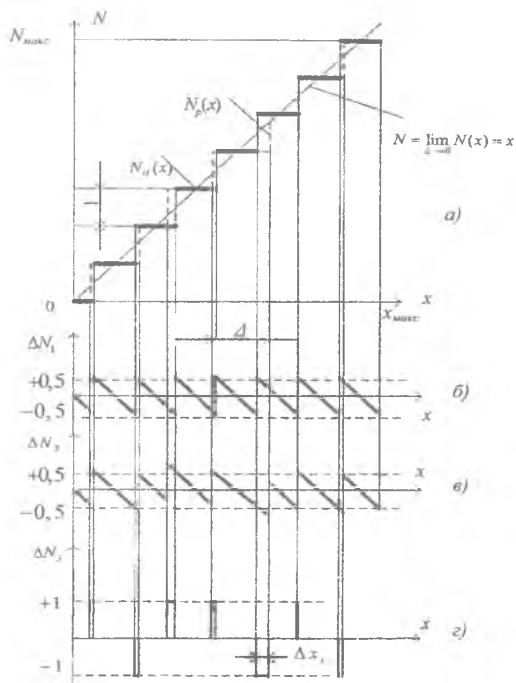


Рис. 1. Способ определения достоверности аналого-цифрового преобразования

Числовой массив значений общей погрешности преобразования может быть найден путем вычисления разности:

$$\Delta N_3 = N_p(x) - N_I(x), \quad (9)$$

которая представляет собой последовательность прямоугольных импульсов с амплитудой, равной единице, полярность которых определяет знак инструментальной погрешности, а «длительность» - абсолютную величину (рис. 1, г).

Оценку достоверности можно получить, используя вспомогательную характеристику (9):

$$P = 1 - \frac{\int_0^{360} |\Delta N_3(x)| dx}{360}. \quad (10)$$

Выражая интеграл через конечные приращения, получим:

$$P = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m |\Delta x_i|}{360} \quad (11)$$

где $|\Delta x_i|$ - модуль погрешности воспроизведения i -го уровня квантования.

Полагая в (11) $|\Delta x_i| = \text{const} = \Delta x_{cp}$ и учитывая, что

$$\Delta x_{cp} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |\Delta x_i|$$

получим

$$(1 - P)/360 = m \Delta x_{cp},$$

откуда, с учетом $m = 2^n$, следует выражение

$$\Delta x_{cp} = \frac{1 - P}{2^n} 360, \quad (12)$$

позволяющее определить допустимое значение инструментальной погрешности, исходя из заданных значений n и P .

Представим $\Delta x_{cp} = k \Delta$, где k - коэффициент, устанавливающий соотношение между «средневыпрямленным» значением инструментальной погрешности и расчетным шагом квантования. Тогда с учетом (12) получим

$$k = \frac{\Delta x_{cp}}{\Delta} = (1 - P). \quad (13)$$

При заданных значениях Δx_{cp} и P предельное число разрядов ВОЦПД будет равно

$$n = \log_2 \frac{(1 - P) 360}{\Delta x_{cp}}. \quad (14)$$

В процессе компьютерного моделирования достоверности погрешности воспроизведения уровней квантования величину Δx_i в (11) можно выразить, по аналогии с классическим методом цифрового измерения временных интервалов, через число n_i модельных шагов Δx_0 , укладывающихся на интервале Δx_i : $\Delta x_i = n_i \Delta x_0$.

Тогда

$$P = 1 - \frac{\Delta x_0 \sum_{i=1}^m n_i}{360}. \quad (15)$$

Выражение (15) определяет принципы построения технических средств инструментального контроля достоверности ЦПП в ходе их метрологической аттестации.

Список использованных источников

1. Гречишников В.М., Конюхов Н.Е. Оптоэлектронные цифровые датчики перемещений со встроенными волоконно-оптическими линиями связи. [Текст]: монография — М.: Энергоатомиздат, Библиотека по автоматике. Вып.677.-1992.-160 с.
2. Домрачев В.Г., Мейко Б.С. Цифровые преобразователи угла: Принципы построения, теория точности, методы контроля. — М.: Энергоатомиздат, 1984. -380 с.
3. Гречишников В.М., Гречишников С.В. Обобщенная математическая модель цифровых преобразователей перемещений и методы ее анализа [Текст] / Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Физико-математические науки». - Самара, СамГУ, вып.6.- С.11-119.
4. Гречишников В.М., Гречишников С.В., Борисов О.Ю. Математическое моделирование статистических характеристик инструментальной погрешности оптоэлектронных цифровых преобразователей угла выборочным методом [Рукопись]. - СГАУ.-2010.

ДВУХОТСЧЕТНЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ «УГОЛ-КОД» С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ УСТРОЙСТВОМ СОГЛАСОВАНИЯ ОТСЧЕТОВ

В.М.Гречишников, А.А.Юдин, О.Ю. Борисов

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Рассматриваемый в данной статье волоконно-оптический преобразователь угол-код (ВОЦПП) предназначен для использования в качестве датчиков углового положения объектов и исполнительных механизмов в системах управления, применяемых на объектах добычи, транспортировки и переработки горючих ископаемых (газ, нефть, уголь), производства и утилизации горючих и взрывоопасных неорганических веществ, в робототехнических комплексах, используемых для выполнения технологических манипуляций в зонах радиоактивного загрязнения, системах управления магнито-импульсной обработкой материалов, на предприятиях силовой электроэнергетики, авиационной промышленности, медицины и других отраслях промышленности, на которых вопросы обеспечения электромагнитной совместимости, взрыво-, пожаро-, экологической и информационной безопасности имеют первостепенное значение.