

Описанная организация методического, информационного, технического и программного обеспечения находится в стадии программной реализации. Внедрена в опытную эксплуатацию первая очередь САПР датчиковой аппаратуры, позволяющая для пьезоэлектрических датчиков выбрать аналог по ТЗ, оценивать технический уровень ТЗ, искать реализованные технические решения для доработки аналога, моделировать заданную конструкцию, осуществлять параметрическую оптимизацию модели, проводить расчет размерных цепей конструктивных узлов. Первая очередь функционирует на двухмашинном комплексе: ЕС-1022, АРМ-М.

Литература

1. Комплекс общепромышленных руководящих методических материалов по созданию АСУ и САПР. - М.: Статистика, 1980. - 119 с.
2. Додонов С.Б. Принципы построения проблемно-ориентированных САПР в машиностроении. - Кибернетика, 1981, № 1, с. 55-59.
3. Зегзда П.Д., Смолко Л.В., Шмаков Э.М. Принцип построения системы автоматизации проектирования средств измерений. - Л.: Труды ЛПИ, 1981, № 377, с. 13-17.
4. Оре О. Теория графов. - М.: Наука, 1980. - 336 с.

УДК 531.717.087.92:53.089.6

Н.А.С и р я ч е н к о

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ТОЧНОСТИ ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ УГЛА В УСЛОВИЯХ БЫСТРОМЕНЯЮЩИХСЯ ВО ВРЕМЕНИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ

Наиболее важным показателем качества функционирования цифровых преобразователей угла (ЦПУ) является точность измерения угловой величины.

Вопросам, связанным с точностью ЦПУ, посвящен ряд работ. В них, в частности, раскрыт механизм возникновения дополнительной погрешности ЦПУ и показаны методы оценки их точности в условиях стационарных [1] и нестационарных (медленноменяющихся) [2] внешних эксплуатационных факторов (ВЭФ). Вместе с тем, в известных работах не освещены вопросы, касающиеся особенностей функциони-

рования ЦПУ в условиях нестационарных быстроменяющихся во времени ВЭФ (вибраций, многократных ударов, переменных электромагнитных полей и помех в цепях питания и пр.). Однако на практике ЦПУ наиболее часто применяются именно в названных условиях и поэтому очень важно уметь оценить в этих случаях их точность.

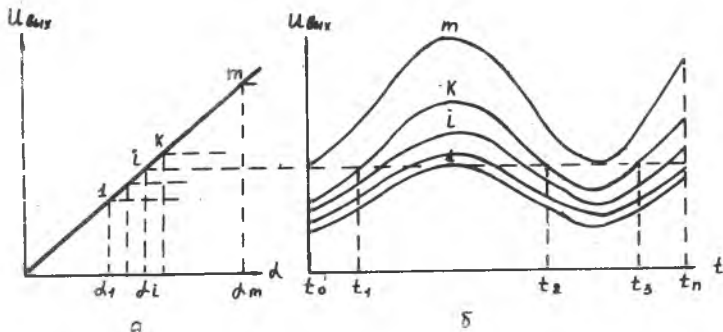
Известно [1], что для определения достоверности кода, который является интегральным критерием оценки точности ЦПУ, необходимо знать вид и параметры закона распределения вероятностей (ЗРВ) погрешности воспроизведения уровней квантования, которую в публикациях принято обозначать через E_2 . В нормальных условиях этот закон определяется только ЗРВ инструментальной погрешности $E_и$, а в условиях ВЭФ является композицией ЗРВ погрешностей $E_и$ и дополнительной $E_д$, зависящей от степени жесткости ВЭФ.

Настоящая статья посвящена изложению метода определения вида и параметров ЗРВ погрешности E_2 при функционировании ЦПУ в условиях быстроменяющихся во времени синусоидальных ВЭФ.

Метод разрабатывался на основе исследования серийно выпускаемых и широко применяемых электромагнитных ЦПУ. Он может быть использован также при оценке точности ЦПУ, построенных на других физических принципах и имеющих сходную с электромагнитными ЦПУ реакцию на воздействие названных ВЭФ.

Особенностью функционирования ЦПУ в условиях синусоидальных ВЭФ являются гармонические колебания во времени фронта и спада его выходного сигнала. Эти колебания не позволяют однозначно определять границы моментов смены значений кода на уровне дешифрации сигнала. Достижение выходным сигналом уровня дешифрации в этом случае неустойчиво и приводит к появлению угловых зон, в которых с определенной вероятностью могут быть прочитаны как предыдущий, так и последующий значения кода. Причем, угловая величина длительности этих зон неоднозначного считывания кода может достигать значений, соизмеримых с величиной кванта.

На рис. 1 приведены фронт выходного сигнала $U_{\text{вых}}$ ЦПУ, измеренного в зависимости от угла α в нормальных условиях (рис. 1,а), фрагмент осциллограмм, иллюстрирующий колебания во времени t уровней $1...m$ приведенного на рис. 1,а участка фронта выходного сигнала при воздействии по ЦПУ быстроменяющегося синусоидального ВЭФ (рис. 1,б) и вид логического сигнала в этом случае (рис. 1,в).



Р и с. 1. Характеристики, поясняющие процесс преобразования сигналов: а - фронт выходного сигнала в зависимости от угла; б - вид осциллограммы сигнала; в - вид логического сигнала

Угловая зона $\alpha_1 \dots \alpha_m$ (рис. 1,а) является зоной неоднозначного считывания кода, так как соответствующие ей уровни $1 \dots m$ выходного сигнала при колебании его от ВЭФ могут расшифровываться в зависимости от моментов времени $t_1 \dots t_n$ и как логический 0, и как логическая 1 (рис. 1,б). Например, колебания выходного сигнала с уровнем k , превосходящим уровень дешифрации, приводит к тому, что в интервалах времени $t_1 - t_0$ он расшифровывается как 0, $t_2 - t_1$ - как 1, $t_3 - t_2$ - как 0 и т.д. Это приводит во времени при равновероятном опросе ЦПУ к формированию логического сигнала вида, представленного на рис. 1,в, где он дан в сравнении с сигналом, имеющим место в нормальных условиях.

Опуская подробности формирования дополнительной погрешности E_{Δ} в условиях ВЭФ, отметим, что каждая угловая координата α_i смены значений кода ЦПУ, зафиксированная в нормальных условиях, при

воздействии синусоидальных ВЭФ представляется во времени с погрешностью E_{Δ} , распределенной по закону, близкому к арксинусу с параметром ℓ_S , равным половине угловой величины длительности зоны неоднозначного считывания кода. Причем, угловые координаты смены значений кода, соответствующие каждому фронту и спаду выходного сигнала ЦПУ в нормальных условиях, при воздействии ВЭФ в общем случае имеют ЗРВ погрешности E_{Δ} с равными по величине и противоположными по знаку математическими ожиданиями относительно этих координат. Величины параметра ℓ_S и математического ожидания α законов арксинуса погрешности E_{Δ} угловых координат смены значений кода каждого конкретного ЦПУ случайны и зависят от особенностей функционирования его считывающих систем, а также вида, направления и степени жесткости воздействующего фактора.

Из изложенного следует, что погрешность E_{Δ} ЦПУ распределена по закону, являющемуся в общем случае композицией законов арксинуса с параметром ℓ_S и дискретного двухмодального, параметр α которого определяется величиной указанного математического ожидания закона арксинуса.

Плотность распределения вероятностей погрешности $E_2 f(e_2)$ определяем как композицию законов $f_1(e_n)$ и $f_2(e_g)$ распределения вероятностей двух случайных независимых величин E_n и E_{Δ} .

Ниже приведем аналитические выражения ЗРВ погрешности E_2 . Первое из них получаем, исходя из нормального с постоянным математическим ожиданием ЗРВ погрешности E_n и ЗРВ погрешности E_{Δ} , являющегося композицией законов арксинуса и дискретного двухмодального. При выводе второго выражения рассматриваем случай нормального с переменным математическим ожиданием ЗРВ погрешности E_n .

В первом случае при выводе аналитического выражения $f(e_2)$ исходим из выражения ЗРВ погрешности E_n , как композиции законов нормального с постоянным математическим ожиданием с параметрами m_0 и σ_0 и дискретного двухмодального с параметром α [3] и ЗРВ вида арксинуса погрешности E_{Δ}

$$f(e_n) = \frac{1}{2\sqrt{2\pi}\sigma_0} \sum_{i=1}^2 \exp\left\{ [e_n - m_0 + (-1)^i \alpha]^2 / 2\sigma_0^2 \right\},$$

$$f(e_g) = \frac{1}{\pi \ell_S \sqrt{1 - (e_g/\ell_S)^2}}.$$

Плотность распределения погрешности E_2 получим в виде

$$f(e_2) = \frac{1}{2\sqrt{2\pi} \sigma_0} \sum_{i=1}^2 \exp \left\{ -\frac{2[e_2 - m_0 + (-1)^i a]^2 + l_s^2}{4\sigma_0^2} \right\} \times \\ \times \left\{ I_0 \left(\frac{l_s^2}{4\sigma_0^2} \right) I_0 \left[\frac{(e_2 - m_0 + (-1)^i a) l_s}{\sigma_0^2} \right] + 2 \sum_{m=1}^n (-1)^m \times \right. \\ \left. \times I_m \left(\frac{l_s^2}{4\sigma_0^2} \right) I_{2m} \left[\frac{(e_2 - m_0 + (-1)^i a) l_s}{\sigma_0^2} \right] \right\},$$

где $I_0 \dots I_{2m}$ - видоизмененные функции Бесселя первого рода.

При выводе выражения применялось разложение [4]

$$e^{c \cos t} = I_0(c) + 2 \sum_{m=1}^{\infty} I_m(c) \cos mt.$$

Во втором случае аналитическое выражение $f(e_2)$ получаем на основе компирирования ЗРВ погрешности E_n , который, в свою очередь, является композицией нормального закона с переменным математическим ожиданием, распределенным по равновероятному закону с параметром l_m , и дискретного двухмодального /I/, представленного как

$$f(e_n) = \frac{1}{4l_m} \sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^2 (-1)^k F_0 \left(\frac{e_2 - m_0 + (-1)^k l_m + (-1)^i a}{\sigma_0} \right)$$

и ЗРВ погрешности E_d , распределенной по закону арксинуса.

Плотность распределения вероятностей погрешности E_2 получаем в виде

$$f(e_2) = \frac{1}{8l_m} \sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^2 (-1)^k \left\{ \sum_{m=1}^2 F_0 \left(\frac{e_2 - m_0 + (-1)^k l_m + (-1)^i a + (-1)^m l_s}{\sigma_0} \right) - \right. \\ \left. - \frac{l_s}{\sqrt{2\pi} \sigma_0} \exp \left(-\frac{2[e_2 - m_0 + (-1)^k l_m + (-1)^i a]^2 + l_s^2}{4\sigma_0^2} \right) \left\{ I_0 \left[\frac{l_s [e_2 - m_0 + (-1)^k l_m + (-1)^i a]}{\sigma_0^2} \right] \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \sum_{m_1=1}^n L I_{2m_1-1} \left(-\frac{l_s^2}{4\sigma_0^2} \right) + \sum_{m_2=1}^n \sum_{m_3=1}^{2n} M I_{2m_2-1} \left(-\frac{l_s^2}{4\sigma_0^2} \right) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times I_{m_3} \left[\frac{l_s [e_2 - m_0 + (-1)^k l_m + (-1)^i a]}{\sigma_0^2} \right] \right\} \right\}, \quad (2)$$

где $F_0(x)$ - интегральная функция Лапласа

$$L = \begin{cases} \frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_1-1}, & \text{если } m_1 \neq 1, \\ 1, & \text{если } m_1 = 1, \end{cases}$$

$$M = \begin{cases} \frac{1}{m_2-m_3} - \frac{1}{m_2+m_3-1} - \frac{1}{m_2-m_3-1} + \frac{1}{m_2+m_3}, & \text{если } m_2 \neq m_3, m_2-m_3 \neq 1, \\ 1 + \frac{1}{2m_2} - \frac{1}{2m_2-1}, & \text{если } m_2 = m_3, \\ 1 + \frac{1}{2m_3} - \frac{1}{m_2+m_3}, & \text{если } m_2 - m_3 = 1. \end{cases}$$

Параметры m_0 , ϵ_0 , ℓ_m ЗРВ погрешности E_m определяем из полученного в нормальных условиях статистического ряда

$$(\alpha_{1g} - \alpha_{1p}), (\alpha_{2g} - \alpha_{2p}), \dots, (\alpha_{ig} - \alpha_{ip}), \dots, (\alpha_{ng} - \alpha_{np}),$$

где α_{ig} - угловые координаты действительных моментов смены значений кода;

α_{ip} - угловые координаты расчетных моментов смены значений кода;

$N = 2^n$ - информационная емкость ЦПУ.

Для определения параметров ℓ_g и a ЗРВ погрешности E_d исходим из статистических данных, полученных в условиях ЭФ

$$\ell_{si} = \left| \frac{\alpha_{i2} - \alpha_{i1}}{2} \right|, \quad a_i = |\alpha_i - \alpha_{i0}|,$$

где α_{i1} , α_{i2} - угловые координаты границ i -й зоны неоднозначного считывания кода;

α_i - угловая координата середины i -й зоны неоднозначного считывания кода;

α_{i0} - соответствующая этой зоне угловая координата смены значения кода в нормальных условиях.

В выражениях (1) и (2) используем средне взвешенные параметры ℓ_g и a , которые вычисляем как

$$\ell_g = \frac{\sum_{i=1}^n \ell_{si} 2^{n-i}}{2^n}, \quad a = \frac{\sum_{i=1}^n a_i 2^{n-i}}{2^n}.$$

Полученные аналитические выражения плотности распределения вероятностей погрешности E_2 позволяют в соответствии с алгоритмом, приведенным в [5], рассчитать на ЭВМ достоверность кода и тем самым интегрально оценить его точность в условиях синусоидальных ВФ.

Литература

1. Домрачев В.Г. Оценка точности ЦПУ в условиях стационарного воздействия внешних факторов. - Метрология, 1982, № 4.
2. Домрачев В.Г. и др. Точность цифровых преобразователей угла при нестационарном воздействии эксплуатационных факторов. - Метрология, 1983, № 1.
3. Домрачев В.Г. и др. Интегральная оценка точности ЦПУ в условиях эксплуатации. - Измерительная техника, 1980, № 3.
4. Грей В., Мэтьюс Г.Б. Функции Бесселя и их приложения к физике. - М.: ИИ, 1953.
5. Домрачев В.Г. и др. Электромагнитные цифровые преобразователи угла с пространственно-временным кодированием. - Приборы и системы управления, 1978, № II.

УДК 681.325.53

А.Н.С л е п и ч

О НЕКОТОРЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ЦИФРОВОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ФАЗОВРАЩАТЕЛЕЙ

Совокупным требованиям по точности и производительности, предъявляемым к процессу контроля фазовращателей, наиболее полно удовлетворяет цифровой метод [1]. Этот метод характеризуется преобразованием фазового сдвига между электрическими сигналами в цифровой код, который впоследствии сравнивается с эталонным значением. Разность этих кодов составляет погрешность фазовращателя. Преобразование фазового сдвига в цифровой код осуществляется следующим образом: фазовый сдвиг многократно преобразуется во временной интервал T_{ϕ} , который затем измеряется методом статистических испытаний [2]. Таким образом, точность процесса контроля определяется точностью двух этапов преобразования фазового сдвига.