Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLII, № 5, 1989, с. 241—247

УДК 621.317.088

С. П. ПАПОЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ТЕСТОВЫХ МЕТОДАХ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Тестовым методам повышения точности измерительных устройств присущ специфический вид динамической погрешности, обусловленный изменением измеряемой величины в процессе тактовых преобразований. В работе приведены имеющие наглядный физический смысл уточненные аналитические выражения для расчета погрешности, учитывающие как последовательность тактовых операций, так и моменты времени, в которым может быть отнесена эта погрешность.

Ил. 1. Библиогр.: 3 назв.

Չափիչ հարմարանքների ճշտության բարձրացման թեստային մեթոդներր օժտված են տակտային փոխակերպումների ընթացքում չափվող մեծության փոփոխություններով պայմանավորված դինամիկական սխալի յուրահատուկ տեսակով։ Աշխատանքում բերված են սխալի հաշվարկման համար ունենան ֆիզիկական իմաստ ունեցող ճշգրտված բանաձևեր, որոնք հաշվի են առնում տակտային փոխակերպումների հաջորդականությունը և ժամանակի այն պահերը, որոնց վերագրվում է այդ սխալը։

Среди различных методов повышения точности измерений и измерительных устройств выгодно отличаются тестовые методы, которые позволяют полностью исключить систематические и медленно меняющиеся погрешности [1—3].

Согласно одному из тестовых способов повышения точности, в процессе трех тактовых преобразований на вход измерительного устройства (ИУ) поочередно подаются измеряемая величина x, аддитивный ($0 + x$) и мультипликативный (Kx) тесты. Скорректированное значение измеряемой величины по результатам отдельных преобразований

$$Y_0 = a_1 + a_2 x, \quad Y_1 = a_1 + a_2 (x + H) \quad \text{и} \quad Y_2 = a_1 + a_2 Kx \qquad (1)$$

вычисляется по формуле

$$x = \frac{Y_2 - Y_0}{Y_1 - Y_0} \cdot \frac{H}{K - 1}, \qquad (2)$$

в которой не фигурируют параметры a_1 и a_2 функции преобразования ИУ. Рассмотренная измерительная система работает по принципу временного разделения каналов, поэтому при изменении измеряемой величины в интервале $T_0 = 2T$, где T — время одного преобразования (рис. 1), результаты Y_i будут отличаться от соответствующих значений (1)

$$Y_0(t_0) = a_1 + a_2 x(t_0), \qquad Y_1(t_1) = a_1 + a_2 [x(t_1) + \Theta],$$
$$Y_2(t_2) = a_1 + a_2 K x(t_2). \tag{3}$$

где $x(t_i)$ — значение измеряемой величины в момент времени t_i.

Исключив из (3) параметры функции преобразования, НУ можем записать

$$\frac{\Theta}{\Theta + x(t_1) - x(t_0)} \cdot \frac{|Kx(t_2) - x(t_0)|}{K-1} = \frac{Y_2(t_2) - Y_0(t_0)}{Y_1(t_1) - Y_0(t_0)} \cdot \frac{\Theta}{K-1}. \tag{4}$$

В левой части (4) содержится абсолютная динамическая погрешность Δ_0, обусловленная изменением измеряемой величины в процессе тактовых преобразований. Если эта погрешность приписывается к моменту времени t_0, то за действительное значение измеряемой величины принимается $x(t_0) = x$, а Δ_0 вычисляется из соотношения

$$\Delta_0 = \frac{1}{K-1} \cdot \frac{\Theta |Kx(t_2) - x| - (K-1)|x(t_1) - x + \Theta| x}{\Theta + x(t_1) - x}. \tag{5}$$

которое отличается от соответствующего выражения, приведенного в [2].

В интервале T_0 измеряемая величина обычно меняется линейно

$$x(t) = x(1 + at), \tag{6}$$

где a — коэффициент, характеризующий скорость изменения измеряемой величины. В этом случае, с учетом (5) и (6) для искомой относительной погрешности получим

$$\delta_0 = \frac{a}{K-1} \cdot \frac{\Theta K t_2 - x(K-1)t_1}{\Theta + axt_1}. \tag{7}$$

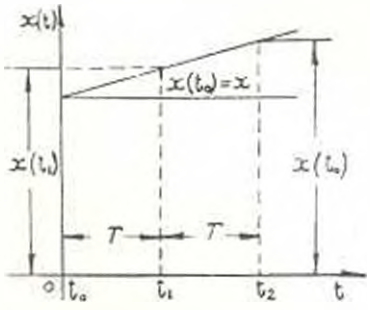

Рис. Графики изменения измеряемой величины

Пусть известно номинальное или наиболее вероятное значение измеряемой величины. Тогда за любой заданный промежуток времени между тактовыми преобразованиями можно выбрать параметры Θ и K, обращающие в ноль погрешность δ_0. Это условие записывается в виде

$$\Theta = \frac{x(K-1)t_1}{Kt_2}. \tag{8}$$

В работе [2] соответствующее условие имеет иной вид:

$$\Theta = \frac{x(K-1)}{2K}. \tag{9}$$

Содержащее в (9) противоречие заключается в том, что время в нем не фигурирует и, следовательно, возможен произвольный выбор

интервалов между тактами, хотя измеряемая величина в промежутке $0 - T_{\text{и}}$ возрастает (убывает) линейно. Результат измерения можно приписать и к моменту времени t_1.

При этом абсолютная погрешность Δ_1 определится разностью левой части уравнения (4) и значением измеряемой величины в момент времени t_1 (рис. 1), а относительная погрешность выразится формулой

$$\delta_1 = \frac{\varkappa}{K-1} \cdot \frac{\Theta K t_2 - (K-1)\,|\Theta t_1 + x t_1 (1 + \varkappa t_1)|}{(1 + \varkappa t_1)(\Theta + \varkappa x t_1)}. \qquad (10)$$

Из (10) получаем условие равенства нулю погрешности

$$\Theta = \frac{x t_1 (1 + \varkappa t_1)(K-1)}{K_2 (t_2 - t_1) - t_1}. \qquad (11)$$

Аналогично можно вычислить погрешность для момента времени t_2

$$\delta_2 = \frac{\varkappa}{K-1} \cdot \frac{\Theta K t_2 - (K-1)\,|\Theta t_2 + x t_2 (1 + \varkappa t_2)|}{(1 + \varkappa t_2)(\Theta + \varkappa x t_2)} \qquad (12)$$

и записать соответствующее условие, превращающее ее в нуль:

$$\Theta = \frac{x t_2 (1 + \varkappa t_2)(K-1)}{t_2}. \qquad (13)$$

Обозначим символом A операцию подачи на вход НУ измеряемой величины, B — аддитивного теста, а C — мультипликативного теста. Очевидно, что рассмотренный случай соответствует последовательности ABC тактовых преобразований. Однако число возможных последовательностей преобразований определится перестановкой и равно $3! = 6$ (ABC, CBA, ACB, BCA, BAC, CAB). С другой стороны результат измерения можно приписать к моментам времени t_0, t_1 и t_2, поэтому в общем случае будем иметь 18 выражений для рассмотренной динамической погрешности. Так как тестовые методы преследуют цель повышения точности НУ, то необходимо проанализировать все 18 вариантов для нахождения оптимального порядка тактовых преобразований, обеспечивающего минимальную динамическую погрешность.

Уравнения тактовых преобразований (1) с учетом обозначений на рис. 1 запишутся в виде

$$\begin{gathered} Y_0(t_0) = a_1 - a_2 K x, \qquad Y_1(t_1) = a_1 + a_2 |x(t_1) + \Theta|, \\ Y_2(t_2) = a_1 + a_2 x(t_2). \end{gathered} \qquad (14)$$

Алгоритм вычисления измеряемой величины также меняется:

$$\frac{Y_0(t_0) - Y_2(t_2)}{Y_1(t_1) - Y_2(t_2)} \cdot \frac{\Theta}{K-1} = \frac{K x - x t_2}{\Theta + x(t_1) - x(t_2)} \cdot \frac{\Theta}{K-1}. \qquad (15)$$

Так как правая часть содержит отнесенную к моменту времени t_1 абсолютную погрешность, для относительной погрешности можем записать

$$\delta_0 = -\frac{\alpha}{K-1} \cdot \frac{\Theta t_2 - x(K-1)(t_1 - t_2)}{\Theta + \alpha x (t_1 - t_2)}. \qquad (16)$$

Сопоставление (7) и (16) показывает, что изменение последовательности тактовых преобразований на обратное меняет динамическую погрешность, которую нельзя получить из (7) формальной заменой знака времени.

Задача отыскания оптимальной последовательности преобразований достаточно сложна, если даже располагать априорной плотностью распределения измеряемой величины по рабочему диапазону, т. к. погрешность является функцией параметров Θ и K тестов. Однако, исходя из условия минимума результирующей погрешности, можно выбрать как оптимальную последовательность операций, так и соответствующие ей параметры тестов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Орнатский П. П., Осьминин А. А.* Аналитическая инвариантность измерительных устройств и условия ее достижения//Метрология.—1975.—№ 10.—С. 3—13.
2. *Бромберг Э. М., Куликовский К. Л.* Тестовые методы повышения точности измерительных устройств.—М.: Энергия, 1978.—176 с.
3. *Диденко В. И., Федотов В. И.* Состояние, возможности и перспективы метода коммутационного инвертирования//Измерительная техника.—1985.—№ 3.—С. 31—33.

Лен. фил. ЕрПИ им. К. Маркса

5. IV. 1987

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLII, № 5, 1989, с. 247—251

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 681.511.42

С. Е. ЧИМИШКЯН

КВАДРАТИЧНЫЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССОВ ДЛЯ КЛАССА НЕЛИНЕЙНЫХ МНОГОСВЯЗНЫХ САУ

Предлагается обобщение квадратичных оценок качества процессов одномерных систем на многосвязный случай.

Ил. 2. Библиогр.: 9 назв.

Առաջարկված է միաչափ համակարգերի պրոցեսների որակի քառակուսային գնահատականների ընդհանրացումը բազմակապ դեպքի համար:

В инженерной практике часто встречаются нелинейные многосвязные системы автоматического управления (САУ) вида рис. 1. Здесь