

## ХАРАКТЕРИСТИКА ПОХИБКИ СОПРОЦЕСОРА-ЧАСТОТОМІРА

к.т.н. В.Є. Козлов, Ю.В. Козлов  
(подав д.т.н., проф. О.М. Крюков)

*Оцінена похибка сопроцесора-частотоміра у порівнянні з похибкою частотоміра ЧЗ-64, який реалізує аналогічний метод лічби.*

**Постановка задачі.** В [1] розглянута спрощена структура сопроцесора-частотоміра, який реалізує метод зворотної лічби та передбачає обчислення вимірюваної частоти за формулою

$$f_x = N \cdot 10^n / 2^k.$$

Вираз для оцінювання відносної похибки обчислення (вимірювання) частоти

$$\delta_f = \delta_N + \delta_0, \quad (1)$$

де  $\delta_N = 1/N = 1/2^k$  – відносна похибка лічення кількості періодів вимірюваної частоти;

$k$  – розрядність двійкового лічильника;

$\delta_0$  – нестабільність опорної частоти (визначає похибку декадного поділювача).

Похибка ділення на  $2^k$  відсутня через фактичну відсутність самої операції ділення.

Щоб нехтувати нестабільністю опорної частоти, треба щоб  $\delta_N$  була приблизно на порядок більше, ніж  $\delta_0$ , тобто треба виконати умову

$$(1/2^k) \geq (1/10^{n+1}). \quad (2)$$

Звідси можна записати

$$10^{n+1} \geq 2^k,$$

і після логарифмування отримати вираз для визначення розрядності двійкового лічильника, який задовільняє визначеній умові

$$k \leq (n + 1) / 0,301. \quad (3)$$

Це означає, що при стабільності генератора опорної частоти  $\delta_0 = 10^{-7}$  для задовільнення умови (2) розрядність двійкового лічильника  $k = 28$ .

Вираз (1) можна переписати як

$$\delta_f = \delta_N. \quad (4)$$

Отже, **основна задача та мета статті** – порівняння отриманої характеристики (4) з методичною похибкою сучасного частотоміра, який реалізує аналогічний метод лічби.

**Аналіз публікацій**, зокрема, каталогів відомих фірм-виробників вимірювальних приладів FLUKE & PHILIPS, TEKTRONIX, RODE & SCHWARZ та інших за 1990 – 2004 роки показує, що вони містять тільки кількісні характеристики похибок вимірювань частоти та періоду, а описи методів вимірювань в них відсутні. Тому для порівняння вибираємо мікропроцесорний частотомір ЧЗ-64 [2], в якому частота обчислюється за формулою

$$f = \frac{k_d \cdot N_E}{10 \cdot (N_0 + \frac{N_1}{k_1} - \frac{N_2}{k_2} - N_{II} \cdot \Delta N_{cp})}, \quad (5)$$

де  $k_d$  – коефіцієнт ділення поділювача частоти;  
 $N_E$  – сумарна кількість періодів сигналу несучої частоти;  
 $N_0$  – сумарна кількість імпульсів опорної частоти за час лічби;  
 $N_1, N_2$  – сумарна кількість імпульсів інтерполяторів;  
 $k_1, k_2$  – коефіцієнти розширення інтерполяторів;  
 $N_{II}$  – кількість радіоімпульсів;  
 $\Delta N_{cp}$  – поправочне число.

Змінні  $N_1, N_2$  та  $k_1, k_2$  введені для зменшення похибок, пов'язаних з неспівпадінням початку та кінця пачки імпульсів, що підраховуються лічильником, з початком та кінцем строб-імпульсу. Усі змінні, що входять до виразу (5), представлені у двійковому коді з обмеженою кількістю розрядів.

**Основна частина.** При обчисленнях з застосуванням обчислювальних засобів на похибку результату впливають, зокрема, метод обчислювань, вихідні дані та необхідність округлення проміжних та кінцевого результатів [3]. Це обумовлює потребу урахування цих складових при оцінюванні похибки кінцевого результату [3 – 5].

Оскільки кількість складових виразу (5)  $m > 4$ , для оцінювання похибки обчислення  $f$  використаємо відомий спосіб геометричного додавання похибок вимірювань (похибок представлення змінних – у нашому випадку):

$$\delta f = \sqrt{\delta^2(k_d) + \delta^2(N_E) + \delta^2(10) + \delta^2(N_0) + \delta^2(N_1) + \delta^2(k_1) + \delta^2(N_2) + \delta^2(k_2) + \delta^2(N_{II}) + \delta^2(\Delta N_{cp})}. \quad (6)$$

Оцінювання у такий спосіб, як правило, приводить до заниженого на 10 – 40 % у порівнянні з дійсним значення сумарної похибки.

Відносна похибка  $\delta(N_0)$  тотожна нестабільності опорної частоти  $\delta_0$ , а  $\delta(N_E)$  тотожна  $\delta_N$  у формулі (1).

Якщо вважати умову (3) виконаною для лічильників  $N_E$  та  $N_0$ , то похибкою  $\delta(N_0)$  у виразі (6) можна також нехтувати. Припущення щодо однакової розрядності представлення складових виразу (5) у мікропроцесорі дозволяє вважати

$$\delta(k_d) = \delta(N_E) = \delta(10) = \delta(N_1) = \delta(k_1) = \delta(N_2) = \delta(k_2) = \delta(N_{II}) = \delta(\Delta N_{cp}), \quad (7)$$

тобто

$$\delta f \approx \sqrt{9\delta^2(N_E)} = 3\delta(N_E) = 3\delta_N. \quad (8)$$

Зменшення розрядності будь-якого з чинників виразу (5) призведе до збільшення похибки вимірювання частоти.

**Висновок.** Порівняння (4) та (8) дозволяє зробити висновок, що похибка вимірювань сопроцесора-частотоміра, який реалізує метод зворотної лічби, втричі менше похибки методу, реалізованого у мікропроцесорному частотомірі ЧЗ-64.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Козлов В.Е., Волобуев А.П., Козлов Ю.В., Рудаков С.В. Сопроцессор-частотомер // Збірник наукових праць ХВУ. – Х.: ХВУ. – 2001. – Вип. 4 (34). – С. 116 – 121.
2. Частотомер электронно-счетный вычислительный ЧЗ-64: Техническое описание и инструкция по эксплуатации. В двух книгах. Кн. 1. – 1987. – 160 с.
3. Путьтин Е.П., Смагин Д.М., Степанов В.П. ТурбоПаскаль в курсе высшей математики. – Х.: Каравелла, 1997. – 352 с.
4. Захаров И.П., Кукуш В.Д. Теория неопределенности в измерениях. – Х.: Консум, 2002. – 256 с.
5. Солопченко Г.Н. Принципы нормирования и контроля характеристик погрешности вычислений в ИИС // Измерительная техника. — 1991. – №11. – С. 9 – 11.

Надійшла 1.11.2004

**КОЗЛОВ Валентин Євгенович**, канд. техн. наук, доцент, доцент Харківського військового інституту Внутрішніх військ МВС України. Галузь наукових інтересів – метрологія та вимірювальна техніка, інформаційні технології.

**КОЗЛОВ Юрій Валентинович**, студент Харківського національного університету радіоелектроніки. Галузь наукових інтересів – метрологія та вимірювальна техніка.