

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПОХИБОК ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ МЕТОДОМ ЗВОРотної ЛІЧБИ

І.В. Руженцев<sup>1</sup>, В.Є. Козлов<sup>2</sup>, Ю.В. Козлов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки,

<sup>2</sup> Харківський військовий інститут Внутрішніх військ МВС України)

*Виконаний порівняльний аналіз похибок частотоміра ЧЗ-64 та сопроцесора-частотоміра, які реалізують метод зворотної лічби.*

### *порівняльний аналіз, похибка, метод зворотної лічби*

В [1] оцінені методичні похибки сопроцесора-частотоміра та частотоміра ЧЗ-64, що серійно випускається. Оцінювання виконане розрахунковим методом у припущенні однакової розрядності представлення складових виразу, який використовується для обчислення частоти. Було вказане зауваження, що зменшення розрядності будь-якої зі складових цього виразу призведе до збільшення похибки вимірювання (обчислення) частоти. Це обумовлює **постановку завдання та основну мету статті** – оцінити похибку вимірювання частоти методом зворотної лічби з урахуванням реальної розрядності операндів.

**Основна частина.** З технічного опису [2] та з розгляду функціональних схем частотоміра ЧЗ-64 слідує, що розрядність операндів обчислювального алгоритму складає:

$N_1$  – 16 двійкових розрядів (чотири тетради (декади) для двійково-десятькового представлення операнду);

$N_2$  – 16 двійкових розрядів (чотири тетради для двійково-десятькового представлення операнду);

$N_E$  – 40 двійкових розрядів (десять тетрад для двійково-десятькового представлення операнду);

$N_O$  – 40 двійкових розрядів (десять тетрад для двійково-десятькового представлення операнду);

$N_H$  – 16 двійкових розрядів;

$\Delta N_{cp}$  – 16 двійкових розрядів.

Розрядність лічильників  $N_E$  і  $N_O$  та їх будова “прив’язані” до розрядності пристрою індикації результату вимірювань. Розрядність лічильників  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_H$  і  $\Delta N_{cp}$  та їх будова обумовлені максимально можливими значеннями сумарної кількості імпульсів інтерполяторів, кількості ра-

діоімпульсів та поправочного числа. Результат вимірювання  $f_x$  подається 32 розрядами – 4 байти, тобто 8 декад.

Оскільки обчислювання виконується мікропроцесором, припустимо також, що:

- множення на коефіцієнт ділення  $k_d$  в чисельнику реалізується мікропроцесором як операція зсуву вліво операнда  $N_E$  на відповідну кількість тетрад;

- ділення на  $k_1$  і  $k_2$  в знаменнику реалізується зсувом відповідно операндів  $N_1$  та  $N_2$  вправо на 8 двійкових розрядів, тобто 2 тетради;

- операція ділення на 10 в знаменнику реалізується зсувом вправо обчисленого в знаменнику виразу на одну тетраду.

Такі припущення передбачають відсутність похибок, пов'язаних з переліченими вище операціями, і дозволяють переписати вираз для оцінювання похибки дискретності вимірювання частоти у такому вигляді:

$$\delta N \approx \sqrt{\delta^2(N_E) + \delta^2(N_0) + \delta^2(N_1) + \delta^2(N_2) + \delta^2(N_{II}) + \delta^2(\Delta N_{cp})}. \quad (1)$$

При розрядності операндів, що наведена вище, у виразі (1) визначальними будуть однакові за величиною похибки  $\delta(N_1)$  та  $\delta(N_2)$ , які більше ніж на порядок переважають похибки  $\delta(N_{II})$  та  $\delta(\Delta N_{cp})$  і майже на шість порядків – похибки  $\delta(N_E)$  та  $\delta(N_0)$ . Тому можна вважати

$$\delta N \approx \sqrt{2\delta^2(N_1)} \approx 1,41\delta(N_1) \approx 1,41 \cdot 10^{-4}. \quad (2)$$

В додатку 5 технічного опису частотоміра ЧЗ-64 [2] наведені графіки залежності похибок вимірювань частоти (і періоду) від значень вимірюваної частоти при різних відношеннях шум/сигнал та рівнів сигналу, розраховані за формулою:

$$\delta_f \approx \pm(10^{-9}/T_{сч} + \delta_{зап}), \quad (3)$$

де  $T_{сч}$  – встановлений час лічби, с;  $\delta_{зап}$  – похибка запуску, зумовлена шумами на вході приладу та нестабільністю рівня запуску.

Ця похибка (рис. 1) для  $T_{сч} = 1$  с і фіксованих рівнів сигналу  $U_{вх} = 0,5$  В (криві 1, 2, 3) та  $U_{вх} = 0,05$  В (криві 4 – 6) відрізняється від дійсної на величину  $\delta_0$  відносної похибки по частоті внутрішнього кварцового генератора або зовнішнього опорного генератора та “ідеалізує” похибки обчислення частоти мікропроцесором (так, якби розрядність усіх лічильників складала десять декад).

У виразі (3) перша складова в дужках записана некоректно, бо є розмірною величиною, хоча має відбивати відносну похибку дискретності, а взагалі похибка вимірювання частоти

$$\delta_f = \pm(\delta_0 + \delta N + \delta_{зап}). \quad (4)$$

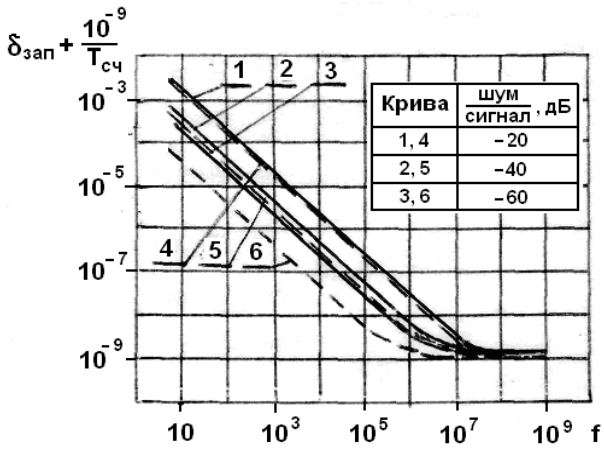


Рис. 1. Аналіз похибки (вираз (3))

Якщо прийняти, що  $\delta_0 = \pm 10^{-7}$ , а  $\delta N$  оцінюється за формулою (2), то криві 7 та 8 (рис. 2) характеризують похибку, обчислену за виразом (4) відповідно для  $U_{вх} = 0,05$  В і відношення шум/сигнал  $-20$  дБ та  $U_{вх} = 0,5$  В і відношення шум/сигнал  $-60$  дБ.

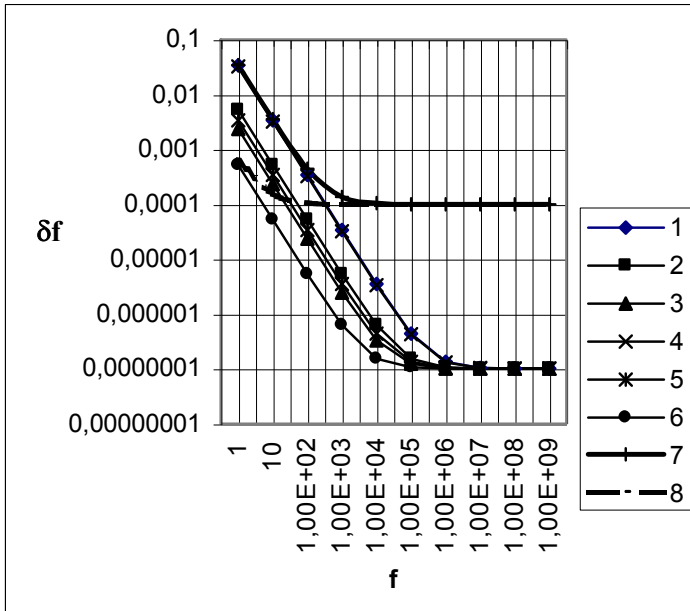


Рис. 2. Аналіз похибки (вираз (4))

Для порівняння наведені криві 1 ... 6 (аналогічні кривим 1 ... 6 на рис. 1) при умові нехтування похибкою  $\delta N$ . Цю умову можна виконати, якщо спростити алгоритм розрахунку частоти до вихідного алгоритму методу зворотної лічби та відповідним чином вибрати розрядність  $k$  двійкового лічильника, як це показано в [1]. Наприклад, для  $\delta_0 = 10^{-7}$   $k \geq 27 = 32$ . Така розрядність лічильників відповідає розрядності сучасних персональних комп'ютерів (ПК), які, до того ж, можуть виконувати обчислення з подвійною точністю. Використання ПК дозволить покласти на нього всі операції, пов'язані з комутацією, дешифрацією та індикацією результату. Можливість виконання нормалізації результату вимірювання та пов'язана з нею можливість коригування коефіцієнта ділення частоти забезпечать потенційну точність вимірювань у всьому діапазоні вимірювань.

Обмежена восьма декадами розрядність представлення результату вимірювань (навіть при усуненні недоліків, пов'язаних з обмеженою розрядністю всіх складових розрахункового алгоритму) обумовлює ще один недолік частотоміру ЧЗ-64: застосування зовнішнього високостабільного джерела опорного сигналу типу стандарту частоти не забезпечить зменшення значення відносної похибки менше  $10^{-8}$ .

**Висновок.** Спрощення алгоритму розрахунку частоти за методом зворотної лічби та відповідний вибір розрядності лічильників дозволяють забезпечити потенційну точність вимірювань частоти та періоду, яка фактично буде визначатися тільки нестабільністю генератора опорних сигналів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Козлов В.Е., Козлов Ю.В. *Характеристика похибки сопроцесора-частотомира // Системи обробки інформації.* – Х.: ХВУ. – 2004. – Вип. 12 (40). – С. 89 – 91.
2. *Частотомер электронно-счетный вычислительный ЧЗ-64: Техническое описание и инструкция по эксплуатации. В двух книгах. Кн. 1.* – 1987. – 160 с.

Надійшла 30.09.2005

**Рецензент:** доктор технічних наук, професор О.М. Крюков,  
Харківський університет Повітряних Сил.