

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПОХИБОК ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ МЕТОДОМ ЗВОРотної ЛІЧБИ

І.В. Руженцев¹, В.Є. Козлов², Ю.В. Козлов¹

¹ Харківський національний університет радіоелектроніки,

²Харківський 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;

ΔN_{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 ΔN_{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:

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

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 $\delta(N_{И})$ 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 δ_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

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

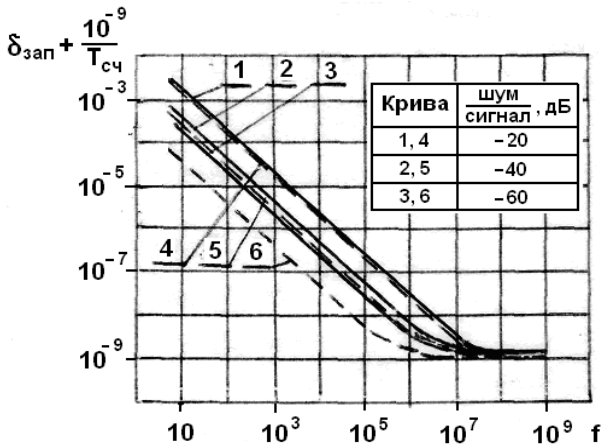


Рис. 1. Аналіз похибки (вираз (3))

Якщо прийняти, що $\delta_0 = \pm 10^{-7}$, а δN 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.

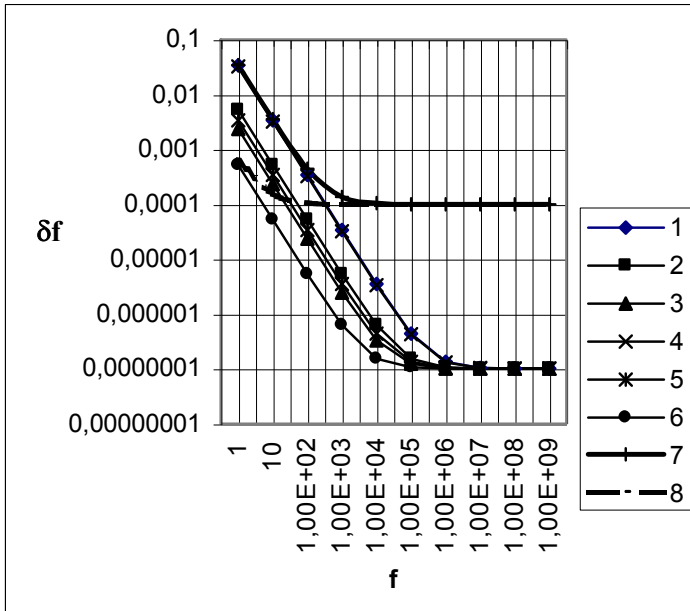


Рис. 2. Аналіз похибки (вираз (4))

Для порівняння наведені криві 1 ... 6 (аналогічні кривим 1 ... 6 на рис. 1) при умові нехтування похибкою δN . 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.
