

АВТОМАТИКА ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВІМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

УДК 621.326

В. В. Кухарчук, д. т. н., проф.;

Ю. Г. Ведміцький;

В. Г. Мадьяров, к. т. н., доц.

ВІМІРЮВАЛЬНИЙ КАНАЛ ЧАСТОТИ З НОРМОВАНИМИ МЕТРОЛОГІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ. СТАЦІОНАРНИЙ РЕЖИМ

Сучасний розвиток елементної бази, в першу чергу мікропроцесорних пристроїв, дозволили суттєво покращити метрологічні характеристики засобів вимірювання частоти.

Відомі алгоритми функціонування мікропроцесорних частотомірів в залежності від співвідношення між частотою досліджуваного і зразкового сигналів поділяють ці засоби на частотоміри миттєвих і середніх значень.

Алгоритм [1, 5] частотоміра миттєвих значень реалізується за умови, коли частота досліджуваного сигналу f_x значно менша від частоти зразкового сигналу f_0 ($f_x < f_0$).

В цьому випадку для заданого проміжку часу, що визначається періодом сигналу невідомої частоти T_x , підраховується кількість імпульсів N_M зразкової частоти f_0 (рис. 1).

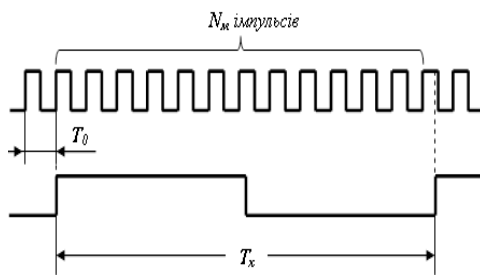


Рис. 1

Оскільки $T_x = N_M T_0$, то частота досліджуваного сигналу визначається як

$$f_x = \frac{f_0}{N_M}. \quad (1)$$

Перевагою даного алгоритму є те, що в процесі його реалізації значення частоти може бути визначено в кожному періоді досліджуваного сигналу, а основним його недоліком — суттєва залежність відносної похибки вимірювання δ від частоти досліджуваного сигналу

$$\delta = \frac{f_x}{f_x + f_0} \cdot 100 \%. \quad (2)$$

Остання обставина значно обмежує верхню межу вимірювання значенням нормованої похибки $\delta_{\text{норм}}$

$$f_x \leq f_{x\text{max}} = f_0 \frac{\delta_{\text{норм}}}{100\% - \delta_{\text{норм}}}$$

(рис. 2), і унеможливує його застосування, якщо порушена умова $f_x < f_0$.

Алгоритм [2] частотоміра середніх значень застосовують тоді, коли частота досліджуваного сигналу перевищує зразкову частоту $f_x > f_0$. За цим алгоритмом здійснюється підрахунок кількості імпульсів N сигналу невідомої частоти, що потрапляють у двійковий лічильник (рис. 3) протягом зразкового часового інтервалу

$$t_0 = kT_0 = \frac{k}{f_0},$$

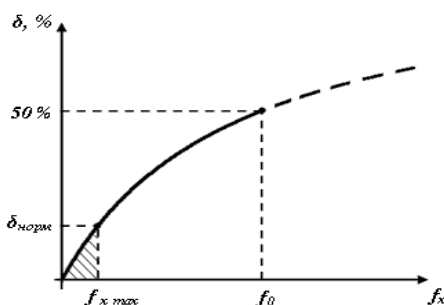


Рис. 2

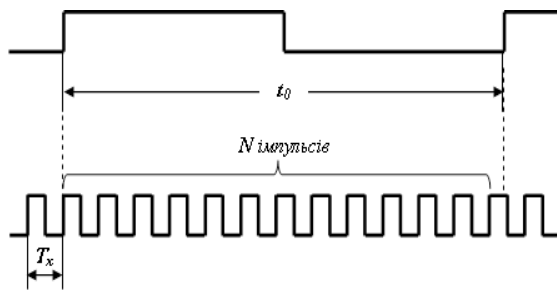


Рис. 3

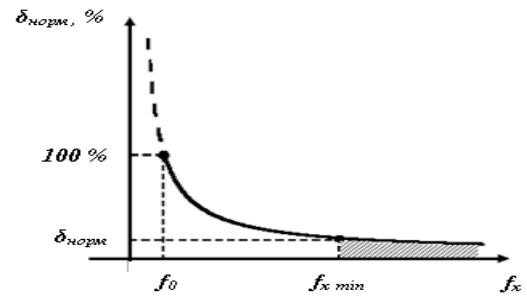


Рис. 4

де k — коефіцієнт ділення подільника зразкової частоти.

Тоді значення інформативного параметра визначають

$$f_x = \frac{N_c f_0}{k}. \quad (3)$$

До недоліків цього алгоритму необхідно віднести досить значний час вимірювання, який суттєво перевищує період досліджуваного сигналу, що за умови вимірювання змінної у часі частоти є неприпустимим. Другим недоліком алгоритму середніх значень є залежність відносної похибки вимірювання від частоти досліджуваного сигналу

$$\delta = \frac{f_0}{k f_x} 100 \%, \quad (4)$$

що також обмежує частотний діапазон вимірювання, але вже на відміну від алгоритму миттєвих значень, знизу (рис. 4).

Отже, реалізувати широкодіапазонний частотомір з наперед заданим значенням похибки за умови суттєвої зміни інформативного параметра протягом короткого часу вимірювання одним із наведених алгоритмів проблемно.

Відомий підхід [3], де автори для дослідження періодичних процесів в широкому діапазоні частот та досягнення при цьому заданої точності пропонують в діапазоні високих частот застосовувати цифровий частотомір, а в діапазоні низьких частот здійснювати вимірювання періоду, тобто використовувати алгоритм миттєвих значень, поєднуючи, таким чином, переваги вищенаведених методів. Виконання вимірювальної процедури пропонується здійснювати в два етапи. На першому етапі відбувається попереднє вимірювання частоти, а на другому, в залежності від співвідношення вимірюваної і критичної частоти, здійснюється точне вимірювання частотоміром середніх чи миттєвих значень.

Наведений алгоритм є ефективним щодо забезпечення заданої точності в широкому діапазоні частот під час дослідження *усталеного періодичного процесу*. Проте здійснення частотоміром попереднього вимірювання частоти та наступна реконфігурація схеми [4] значно обмежує або і взагалі унеможливує його застосування для вимірювання змінної частоти під час *перехідного неперіодичного процесу*.

Метою роботи є розробка вимірювального каналу частоти, адаптивного до швидкості зміни інформативного параметру з нормованим значенням похибки під час короткотривалого перехідного неперіодичного процесу.

Розв'язок даної проблеми вочевидь лежить у відмові від традиційного, але, на думку авторів, помилкового погляду на алгоритми миттєвих та середніх значень як на окремі, незалежні один від одного алгоритми. Ці методи вимірювання частоти суть деякого єдиного загального алгоритму: *не окремі його складові, а окремі його прояви*.

Тобто, даний алгоритм має являти собою алгоритм миттєвих значень за умови низької частоти досліджуваного сигналу і алгоритм середніх значень за умови високої частоти.

Зовні це матиме вигляд адаптації частотоміра до частоти досліджуваного сигналу.

Для реалізації адаптивного частотоміра необхідно одночасно проводити підрахунок і кількості імпульсів K досліджуваного сигналу, T_x , і кількості імпульсів N зразкового сигналу T_0 , що припадають на час вимірювання — заданий зразковий інтервал часу t_{zp} , який має бути кратним періодові T_x (рис. 5).

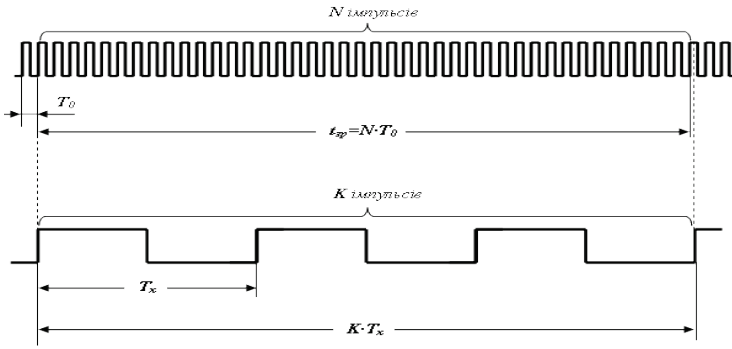


Рис. 5

Оскільки $t_{зр} = K T_x = N T_0$, то період вимірюваного сигналу можна визначити за формулою

$$T_x = \frac{t_{зр}}{K} = \frac{N}{K} T_0,$$

а частоту, відповідно, —

$$f_x = \frac{K}{N} f_0. \quad (5)$$

Абсолютна похибка вимірювання частоти даним алгоритмом буде

$$\Delta = \frac{K}{N} f_0 - \frac{K}{N+1} f_0 = f_x - \frac{1}{\frac{N+1}{K f_0}} = f_x - \frac{1}{\frac{N}{K f_0} + \frac{1}{K f_0}} = f_x - \frac{1}{\frac{1}{f_x} + \frac{1}{K f_0}}$$

або після нескладних перетворень матиме вигляд

$$\Delta = \frac{f_x^2}{f_x + K f_0}. \quad (6)$$

Тоді відносна похибка визначається

$$\delta = \frac{100 \%}{1 + \frac{K}{f_x} f_0}. \quad (7)$$

Врахувавши (5), цю похибку можна подати так

$$\delta = \frac{100 \%}{1 + N}. \quad (8)$$

Аналізуючи (7), можна дійти висновку, що для того, щоб відносна похибка вимірювання частоти залишалася сталою на рівні нормованого значення $\delta_{норм}$ і не залежала від частоти f_x , необхідно за сталої зразкової частоти f_0 залишати сталим відношення $\frac{K}{f_x}$, одночасно зі зміною f_x , відповідно змінюється і K . Проте навіть теоретично це неможливо, оскільки в той час, коли частота f_x змінюється неперервно, число K , належачи множині натуральних чисел, може змінюватись тільки дискретно.

Тому для подальшого аналізу необхідно ставити питання дещо інакше: якими б не були ступінь та характер зміни вимірюваної частоти, відносна похибка δ не повинна перевищувати нормованого значення похибки $\delta_{норм} \geq \delta$ і, таким чином, перейти від рівнянь (7) та (8) до системи нерівностей

$$\begin{cases} \delta_{норм} \geq \frac{100 \%}{1 + \frac{K}{f_x} f_0}; \\ \delta_{норм} \geq \frac{100 \%}{1 + N}. \end{cases} \quad (9)$$

Звідки випливає, що для того, щоб за довільної частоти f_x відносна похибка вимірювання не перевищувала нормованого значення, необхідно одночасно виконати такі дві умови:

$$\begin{cases} K \geq \frac{100\% - \delta_{\text{норм}}}{\delta_{\text{норм}}} \frac{f_x}{f_0}; \\ N \geq \frac{100\% - \delta_{\text{норм}}}{\delta_{\text{норм}}} \end{cases} \quad (10)$$

Оскільки на практиці $\delta_{\text{норм}} \ll 100\%$, то систему нерівностей (10) можна звести до вигляду

$$\begin{cases} K \geq \frac{100\%}{\delta_{\text{норм}}} \frac{f_x}{f_0}; \\ N \geq \frac{100\%}{\delta_{\text{норм}}} \end{cases} \quad (11)$$

Як видно з (11) друга умова не залежить від f_x , тому під час підрахунку імпульсів N і K в першу чергу необхідно задовольнити саме її незалежно від миттєвого значення частоти досліджуваного сигналу, і зупинити лічбу за такої умови:

$$K T_x = \frac{K}{f_x} \geq N T_0 = \frac{N}{f_0}, \quad (12)$$

що буде свідчити про виконання першої умови системи нерівностей (11). Якщо при цьому K виявиться рівним одиниці, то даний алгоритм проявляє себе як алгоритм миттєвих значень, інакше — як алгоритм середніх значень.

Наприклад, для заданої нормованої похибки $\delta_{\text{норм}} = 0,1\%$ кількість тактових імпульсів зразкової частоти відповідно до (11) має бути $N \geq 1000$. В цьому випадку для частотоміра, реалізованого на базі мікроконтролера AT90S8515 корпорації Atmel за тактової частоти $f_0 = 4 \cdot 10^6$ Гц ($T_0 = 250$ нс) залежність між f_x і K буде такою, як показано в таблиці.

Реалізація режимів роботи адаптивного алгоритму частотоміра

T_x	f_x	K	Режим роботи частотоміра
понад 250 мкс	до 4 кГц	1	Частотомір миттєвих значень
$125 \text{ мкс} \leq T_x < 250 \text{ мкс}$	$4 \text{ кГц} < f_x \leq 8 \text{ кГц}$	2	Частотомір середніх значень
$83,3 \text{ мкс} \leq T_x < 125 \text{ мкс}$	$8 \text{ кГц} < f_x \leq 12 \text{ кГц}$	3	
$62,5 \text{ мкс} \leq T_x < 83,3 \text{ мкс}$	$12 \text{ кГц} < f_x \leq 16 \text{ кГц}$	4	
$50 \text{ мкс} \leq T_x < 62,5 \text{ мкс}$	$16 \text{ кГц} < f_x \leq 20 \text{ кГц}$	5	
$1,0 \text{ мкс} \leq T_x < 1,04 \text{ мкс}$	$996 \text{ кГц} < f_x \leq 1 \text{ кГц}$	250	Частотомір середніх значень
$25 \text{ нс} \leq T_x < 25,025 \text{ нс}$	$3996 \text{ кГц} < f_x \leq 4 \text{ кГц}$	1000	Частотомір середніх значень

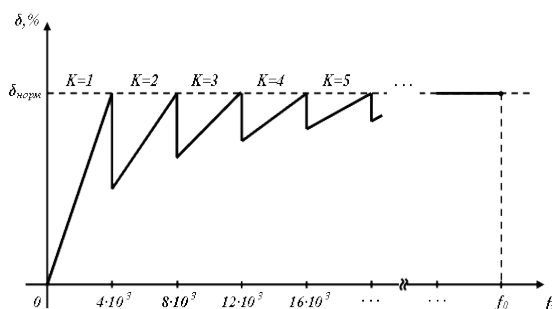


Рис. 6

З рис. 6, де наведена залежність зміни відносної похибки вимірювання від частоти досліджуваного сигналу за допомогою адаптивного частотоміра, що працює в стаціонарному періодичному режимі, видно що даний алгоритм забезпечує задану точність роботи в широкому частотному діапазоні: теоретично безмежному, а на практиці обмеженому значенням зразкової частоти f_0 .

Висновки

1. Показано, що реалізація широкодіапазонного частотоміра з наперед заданим значенням похибки за умови суттєвої зміни інформативного параметра протягом короткого часу вимірювання одним із наявних алгоритмів є задачею проблемною.

2. Описано розроблений вимірювальний канал частоти, адаптивний до швидкості зміни інформативного параметра з нормативним значенням похибки під час короткотривалого перехідного неперіодичного процесу.

3. В результаті проведеного аналізу доведено, що розроблений адаптивний алгоритм функціонування частотоміра забезпечує: в стаціонарному періодичному режимі задану точність вимірювання в широкому частотному діапазоні, теоретично безмежному, а на практиці обмеженому значенням зразкової частоти.

4. Отримано математичні співвідношення для основних параметрів, що характеризують роботу вимірювального каналу частоти в умовах стаціонарного та перехідного режимів, які покладено в основу інженерної методики проектування адаптивних мікроконтролерних частотомірів з нормованими метрологічними характеристиками.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Орнатский П. П. Автоматические измерения и приборы. — К.: Выща щкола, 1980. — 430 с.
2. Поліщук Є. С. та ін. Метрологія та вимірювальна техніка. — Львів: Бескид-Біт, 2003. — 544 с.
3. Поджаренко В. О., Кухарчук В. В. Вимірювання і комп'ютерно-вимірювальна техніка. — К.: УМК ВО, 1991. — 240 с.
4. Кухарчук В. В. Спосіб апаратно-програмної реалізації вимірювання частоти періодичного сигналу // Вісник ВПІ. — 1994. — № 3(4). — С. 28 — 33.
5. Jones L., Chin A. Electronic Instruments and Measurements. — New York: Wiley, 1983.

Рекомендована кафедрою теоретичної електротехніки та промислової електроніки

Надійшла до редакції 2.09.04
Рекомендована до друку 20.09.04

Кухарчук Василь Васильович — завідувач кафедри; **Ведміцький Юрій Григорович** — асистент; **Мадьяров В'ячеслав Губеєвич** — доцент.

Кафедра теоретичної електротехніки та промислової електроніки, Вінницький національний технічний університет