

# АВТОМАТИКА ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВІМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

УДК 621.326

В. В. Кухарчук, д. т. н., проф.;

Ю. Г. Ведміцький;

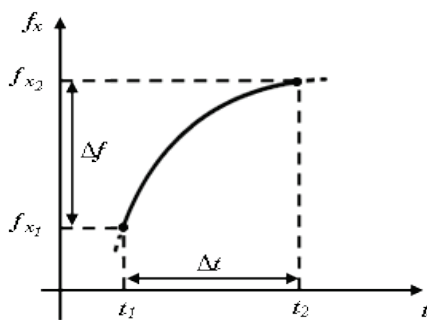
В. Г. Мадьяров, к. т. н., доц.

## ВІМІРЮВАЛЬНИЙ КАНАЛ ЧАСТОТИ З НОРМОВАНИМИ МЕТРОЛОГІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ. ДИНАМІЧНИЙ РЕЖИМ

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

В роботі [1] авторами описаний вимірювальний канал частоти, де 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. Проте даний частотомір і в динамічному режимі в умовах короткотривалого перехідного процесу має певні переваги над наявними [2—6], забезпечуючи мінімально можливий час вимірювання частоти з межею швидкості її зміни, необмеженою в діапазоні низьких частот і прямо пропорційною до вимірюваної частоти в діапазоні високих. Покажемо це, проаналізувавши роботу адаптивного частотоміра в динамічному режимі в умовах перехідного процесу.

Нехай частота досліджуваного сигналу змінюється, зростаючи з деякою швидкістю  $g_x$  за час вимірювання  $\Delta t$  від значення  $f_{x_1}$  до значення  $f_{x_2}$  (рис. 1).



Тоді

$$g_x = \frac{df}{dt} \approx \frac{\Delta f}{\Delta t}, \quad (1)$$

де  $\Delta f = f_{x_2} - f_{x_1}$ , а  $\Delta t = t_2 - t_1$ .

Для випадку  $K = 1$ , тобто коли адаптивний частотомір буде здійснювати алгоритм миттєвих значень, час вимірювання дорівнює періоду досліджуваного сигналу  $\Delta t = T_x$ , і тому ніяких обмежень щодо швидкості зміни частоти немає.

Зовсім інша ситуація у разі алгоритму середніх значень, тобто коли  $K$  набуває значень, більших від одиниці ( $K \geq 2$ ).

Аналіз першої нерівності системи (11) [1] дозволяє помітити одну досить важливу обставину. З одного боку відповідно до (11) [1]  $K$  має бути *не менше* деякого числа, яке визначається миттєвою вимірюваною частотою та заданою точністю її вимірювання, але з іншого — лічба числа  $K$  відбувається в напрямку його *зростання*. А це говорить про те, що виконання умов системи (11) [1] відбувається за мінімального значення  $K$ , а отже і час вимірювання частоти  $K T_x$  буде *мінімальним*.

Проте, хоча обмеження, пов'язані з усередненням частоти і мінімізовані даним алгоритмом, вони все ж таки є. Дамо їм кількісну оцінку.

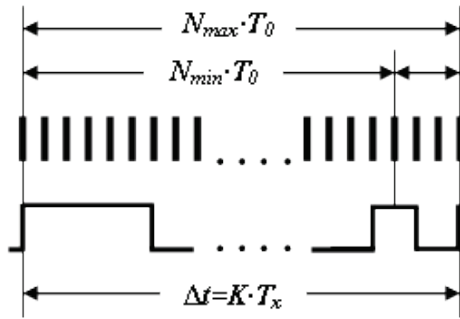


Рис. 2

Для цього в першу чергу визначимося з часом вимірювання. Відомо, що цей час буде мінімально можливим, але для оцінки цього недостатньо.

Оскільки під час неперервного зменшення періоду  $T_x$  досліджуваного сигналу число  $K$  відповідним чином зростає, але зростає дискретно, час вимірювання  $\Delta t$  буде дещо змінюватись, пульсуючи в деякому часовому інтервалі (рис. 2). Тобто цей час вимірювання буде обмеженим і низьким, що є недоліком даного алгоритму, оскільки не дозволяє відслідковувати кожний період  $T_x$ , і згори, що вочевидь є його перевагою, тому що мінімізує час усереднення.

Знизу час вимірювання обмежений відповідно до системи нерівностей (11) [1]:  
де

$$\Delta t_{\min} = N_{\min} T_0, \tag{2}$$

$$N_{\min} = \frac{100\%}{\delta_{\text{норм}}} \tag{3}$$

мінімально необхідна кількість імпульсів зразкової частоти, що забезпечує задану точність вимірювання, а згори —  $\Delta t_{\max} = N_{\max} T_0$ ,  $N_{\max} = N_{\min} + \frac{T_x}{T_0} = N_{\min} + \frac{N_{\max}}{T_0}$ ,

або, розв'язуючи відносно  $N_{\max}$

$$N_{\max} = N_{\min} \frac{K}{K-1} \tag{4}$$

максимально достатня кількість імпульсів, що мінімізує час вимірювання.

Таким чином, час вимірювання  $\Delta t$  буде лежати в межах

$$N_{\min} T_0 \leq \Delta t \leq N_{\min} \frac{K}{K-1} T_0.$$

Отже, протягом часу зміни частоти від  $f_{x_1}$  до  $f_{x_2}$  частотомір відрахує  $K_b$  — кількість імпульсів, що буде відповідати деякому хибному значенню частоти  $f_{x_b} = \frac{K_b}{N_b} f_0$ . Причому, оскільки кількість імпульсів сигналу монотонно зростає чи спадає частоти, що припадає на деякий сталий інтервал часу, буде залежати від характеру швидкості зміни частоти протягом часу вимірювання  $\Delta t$  (рис. 3), то і значення  $f_{x_b}$  буде залежати від цього.

Сформулюємо без доведення теорему.

**Теорема 1.** Кількість імпульсів сигналу  $n$ , частота якого монотонно зростає від  $f_{x_1}$  до  $f_{x_2}$  та змінюється протягом сталого інтервалу часу  $\Delta t = t_2 - t_1$ , не вийде за межі інтервалу  $f_{x_1} \Delta t < n < f_{x_2} \Delta t$ , незалежно від характеру зміни частоти в цьому ж інтервалі часу.

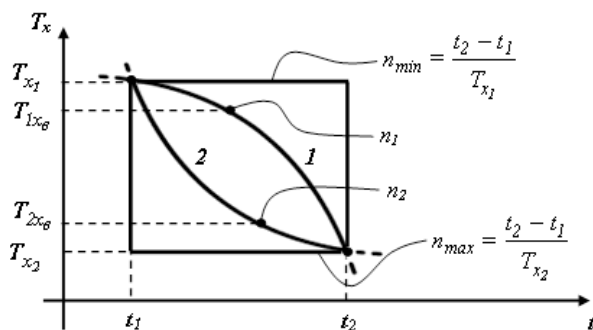


Рис. 3

Рисунок 3, для зручності наведений для періоду сигналу, пояснює цю теорему. Її наслідком є те, що хибне значення частоти  $f_{x_b}$  адаптивного вимірювального каналу, не вийде за межі

$$f_{x_1} < f_{x_b} < f_{x_2}. \tag{5}$$

Оскільки абсолютна похибка

$$\Delta = f_{x_2} - f_{x_b},$$

то з умови (5) випливає, що максимальним її значенням незалежно від характеру зміни частоти буде

$$\Delta_{\max} = f_{x_2} - f_{x_1} \quad (6)$$

Тоді максимальна відносна похибка

$$\delta_{\max} = \frac{\Delta_{\max}}{f_{x_2}} 100\%.$$

За умови, що ця похибка не повинна перевищувати нормовану  $\delta_{\max} \leq \delta_{\text{норм}}$ .

Звідки

$$\Delta_{\max} \leq \frac{\delta_{\text{норм}}}{100\%} f_{x_2}$$

або, враховуючи (3),

$$\Delta_{\max} \leq \frac{f_{x_2}}{N_{\min}} \quad (7)$$

Оскільки максимальне значення швидкості зміни частоти буде за мінімального часу вимірювання, то відповідно до (1) і (6)

$$g_{\max} = \frac{\Delta_{\max}}{\Delta t_{\min}},$$

а з урахуванням (2)

$$g_{\max} = f_0 \frac{\Delta_{\max}}{N_{\min}}$$

Формула (7) накладає таке обмеження на  $g_{\max}$

$$g_{\max} \leq \frac{f_0 f_{x_2}}{N_{\min}^2}$$

Узагальнюючи, можна записати

$$g_{\max} \leq \frac{f_0}{N_{\min}^2} f_x \quad (8)$$

Скориставшись (5) та посиливши обмеження швидкості зміни частоти, матимемо

$$g_{\max} \leq \frac{f_0}{N_{\min}^2} \frac{K}{N_{\max}}$$

Підставивши в останню формулу (4), остаточно отримаємо

$$g_{\max} \leq \frac{f_0^2}{N_{\min}^3} (K - 1), \quad K = 2, 3, \dots \quad (9)$$

Таким чином, підведемо підсумки. За низької частоти частотомір, що працює за адаптивним алгоритмом, не буде мати обмежень щодо швидкості зміни частоти, оскільки являє собою алгоритм миттєвих значень ( $K = 1$ ). Під час роботи алгоритму за методом середніх значень ( $K \geq 2$ ), ці обмеження є, але вони будуть зі зростанням частоти послаблюватися відповідно до (8) та (9) (рис. 4).

Так, наприклад, для мікропроцесорного адаптивного частотоміра з тактовою частотою  $f_0 = 4$  МГц за умови нормованої похибки  $\delta_{\text{норм}} = 0,1\%$ , тобто  $N_{\min} = 1000$ , обмеження швидкості зміни частоти будуть визначатися відповідно до (8) і (9) за такими формулами:

$$g_{\max} \leq 4f_x$$

$$\text{або, } g_{\max} \leq 16 \cdot 10^3 (K - 1), \quad K = 2, 3, \dots$$

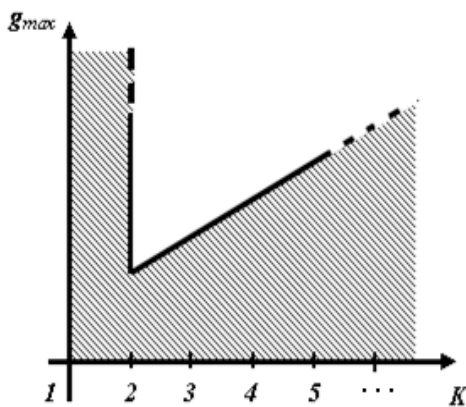


Рис. 4

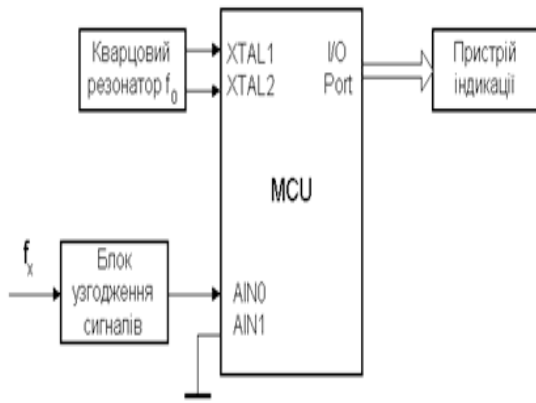


Рис. 5

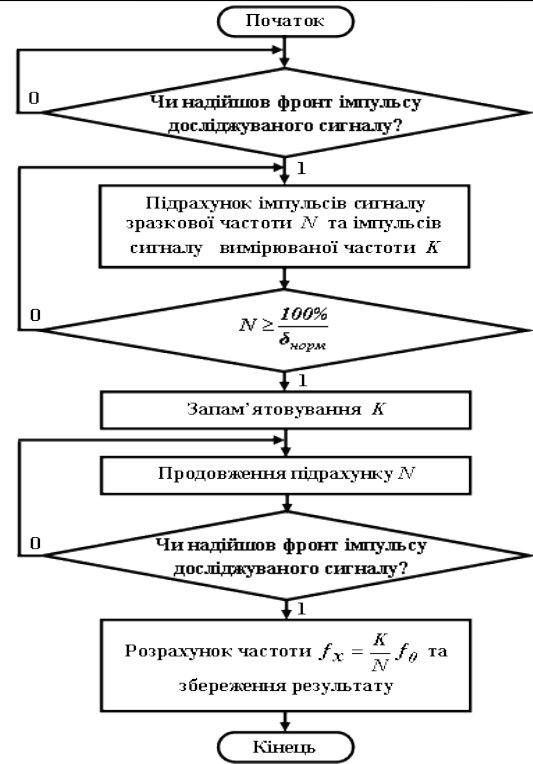


Рис. 6

На завершення наведемо структурну схему реалізації адаптивного мікропроцесорного частотоміра (рис. 5), та блок-схему алгоритму його функціонування (рис. 6).

Висновки

1. Описано розроблений вимірювальний канал частоти, адаптивний до швидкості зміни інформативного параметра з нормативним значенням похибки під час короткотривалого перехідного неперіодичного процесу.
2. В результаті проведеного аналізу доведено, що розроблений адаптивний алгоритм функціонування частотоміра забезпечує в динамічному режимі в умовах перехідного процесу мінімально можливий час вимірювання частоти з межею швидкості її зміни, необмеженою в діапазоні низьких частот і прямо пропорційною до вимірюваної частоти в діапазоні високих.
3. Отримано математичні співвідношення для основних параметрів, що характеризують роботу вимірювального каналу частоти в динамічному режимі в умовах короткотривалого перехідного процесу і які покладено в основу інженерної методики проектування адаптивних мікроконтролерних частотомірів з нормованими метрологічними характеристиками.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кухарчук В. В., Ведміцький Ю. Г., Мадьяров В. Г. Вимірювальний канал частоти з нормованими метрологічними характеристиками. Стационарний режим // Вісник ВПІ. — 2004. — № 6. — С. 5—9.
2. Орнатский П. П. Автоматические измерения и приборы. — К.: Выща школа, 1980. — 430 с.
3. Поліщук С. С. та ін. Метрологія та вимірювальна техніка. — Львів: «Бескид-Біт», 2003. — 544 с.
4. Поджаренко В. О., Кухарчук В. В. Вимірювання і комп'ютерно-вимірювальна техніка. — К.: УМК ВО, 1991. — 240 с.
5. Кухарчук В. В. Спосіб апаратно-програмної реалізації вимірювання частоти періодичного сигналу // Вісник ВПІ. — 1994. — №3 (4). — С. 28 — 33.
6. 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** — викладач; **Мадьяров В'ячеслав Губеєвич** — доцент.

Кафедра теоретичної електротехніки та промислової електроніки, Вінницький національний технічний університет