

ДО ПИТАННЯ ОЦІНЮВАННЯ ПОХИБКИ ДИСКРЕТИЗАЦІЇ І ВЕРХНЬОЇ МЕЖІ ВИМІРЮВАННЯ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ І МІКРОПРОЦЕСОРНИХ ТАХОМЕТРАХ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Вперше отримано рівняння похибки дискретизації та доведено, що обмежувальним чинником верхньої межі вимірювання кутової швидкості є не тільки нормоване значення похибки квантування, як вважалося раніше, але і значення частоти дискретизації f_d . Тому для розширення діапазону вимірювання (за рахунок збільшення верхньої межі вимірювання) запропоновано підвищувати не тільки швидкодію апаратних засобів аналого-цифрового перетворення, але і зменшувати час виконання програмних драйверів передачі вимірювальної інформації в оперативну пам'ять мікропроцесорної системи. Для цього отримано аналітичні залежності оцінювання верхньої межі вимірювання в основі якої є значення кроку дискретизації для різних режимів передачі вимірювальної інформації.

Ключові слова: кутова швидкість, енкодер, квантування, дискретизація, вимірювальний канал кутової швидкості, рівняння похибок квантування і дискретизації, діапазон вимірювання, швидкодія.

Abstract

The equation of sampling error was obtained for the first time, was proved that the upper limit of the angular velocity measurements limiting factor is not only the normalized value of the quantization error, as previously thought, but also the value of the f_d sampling frequency. Therefore, to expand the measurement range (by increasing the upper measurement limit), it is proposed both, to increase the performance of analog-to-digital conversion hardware, and to reduce the execution time of software drivers for transmitting measuring information to the RAM of the microprocessor system. Therefore, analytical dependencies for evaluating the upper measurement limit are obtained, based on the value of the sampling step for different modes of transmitting measuring information.

Keywords: angular velocity, encoder, quantization, sampling, measuring channel of angular velocity, equation of errors of quantization and sampling, measurement range, performance.

Вступ

Важливими особливостями динамічних вимірювань кутової швидкості є її перетворення енкодером в послідовність електричних сигналів, частота яких визначається [1]

$$f_x = \frac{\omega Z}{2\pi}. \quad (1)$$

та мікропроцесорна реалізація вимірювального каналу частоти миттєвих значень (рис.1), в основу якого покладено опосередкований метод перетворення частоти f_x у паралельний двійковий код N [1-2].

В таких вимірювальних каналах квантування періоду T_x , що формується на прямому виході лічильного тригера T , здійснюється періодами T_0 зразкової частоти f_0 . В результаті такого порівняння вимірюваної T_x і зразкової T_0 фізичних величин отримують числові значення N кутової швидкості через період – в парних або не парних періодах. Функції перетворення вимірювального каналу кутової швидкості миттєвих значень, яка однозначно пов'язує вхідну величину – кутову швидкість ω з вихідною N кількістю імпульсів у двійковому лічильнику вимірювального каналу має вигляд

$$N = \frac{2\pi \cdot f_0}{\omega z}. \quad (2)$$

Результати дослідження

До характерних рис [1-3] структурної схеми (рис.1) апаратно-програмної реалізації вимірювального каналу кутової швидкості можна віднести такі:

1. Квантування періодів T_x періодами T_0 зразкової частоти f_0 здійснюється в логічній схемі «І» з прямого T або інверсного \bar{T} виходів лічильного тригера T , який ще називають пристрій виділення періоду;
2. Наявність двійкового лічильника $CT2$, що здійснює лічбу кількості N зразкових періодів T_0 , які квантують періоди T_x або \bar{T}_x , сформовані відповідно на прямому або на інверсному виходах лічильного тригера T ;
3. Наявність програмованого інтерфейсу для передачі двійкових кодів кількості імпульсів N з виходів двійкового лічильника $CT2$ в акумулятор АСС мікропроцесорної системи MPS, основними складовими якої є мікропроцесор CPU, оперативна RAM і постійна ROM пам'яті.

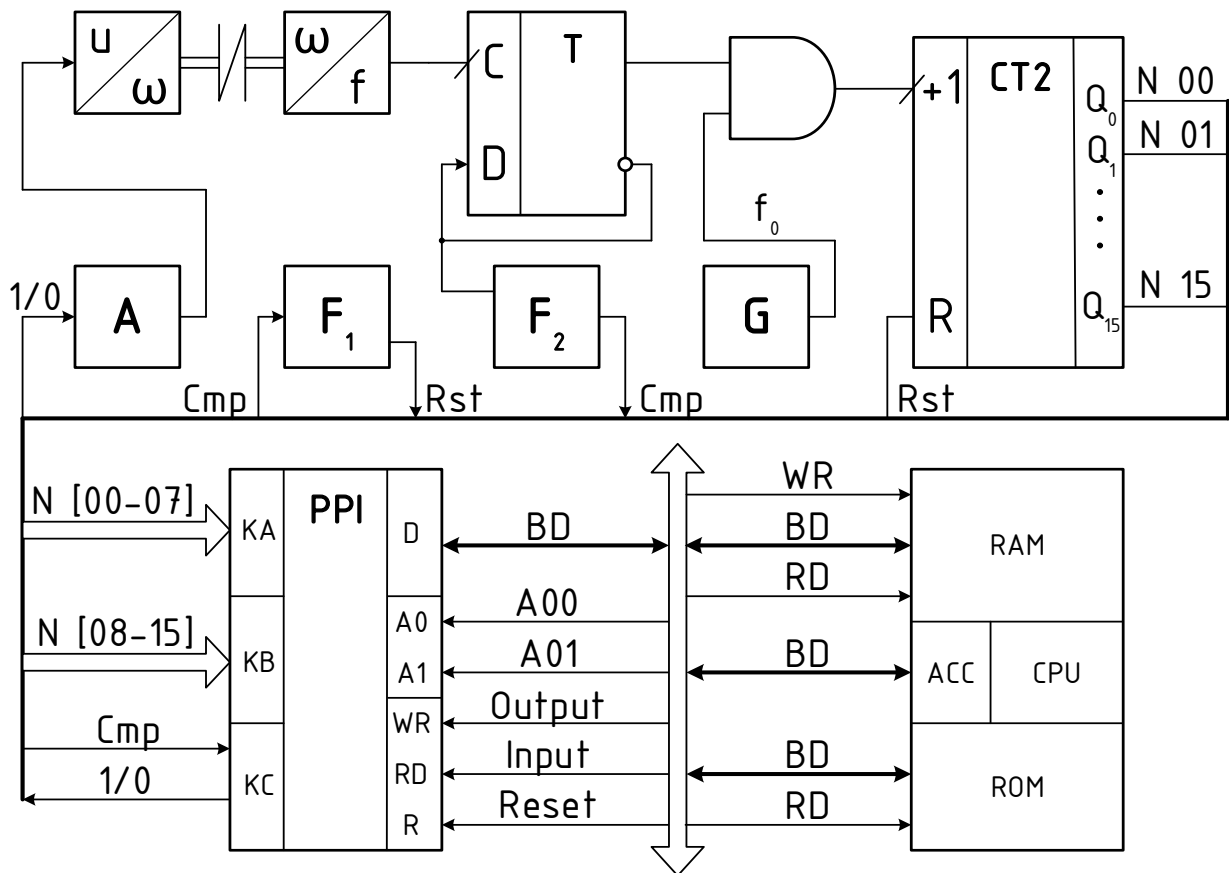


Рисунок 1 – Узагальнена структурна схема динамічних вимірювань ω_x :

T – тригер (пристрій виділення періоду); F_1, F_2 – формувачі; A – адаптер об'єкту вимірювання; G – генератор зразкової частоти f_0 ; $CT2$ – двійковий лічильник; PPI – паралельний програмований інтерфейс; мікропроцесорна система MPS, що складається з мікропроцесора CPU та окремо виділеного його акумулятора АСС, оперативної RAM і постійної ROM пам'яті. T_x - прямиий вихід тригера T ; Res – установка в нуль тригерів двійкового лічильника $CT2$; Стр - сигнали запису 2-х байт інформації з виходів $N00, N01...N15$ двійкового лічильника $CT2$ в буферні порти каналів KA і KB інтерфейсу PPI; BD – шина даних; A00, A01 – молодші розряди шини адреси; Out – сигнал запису інформації в інтерфейс PPI; Input – сигнал читання інформації з інтерфейсу PPI; Reset – сигнал установки в нуль усіх портів інтерфейсу PPI; WR – сигнал запису інформації в RAM; RD – сигнал читання інформації з RAM (ROM); 1/0 – запуск/зупинка об'єкту вимірювання.

Алгоритм взаємодії апаратних і програмних засобів цифрового тахометра з мікропроцесорним керуванням, що реалізує опосередкований метод наступний.

1. Початок.
2. Ініціалізація програмних засобів тахометра, в результаті виконання якої встановлюється:
 - Початкова адреса ADR буфера оперативної пам'яті, в який будуть записуватися результати вимірювання частоти f_x ;
 - Числове значення програмного лічильника вимірювань, який задає кількість $[n]$ вимірювань частоти.
3. Ініціалізація апаратних засобів перетворювача:
 - 3.1 Програмна установка режимів роботи каналів програмованого інтерфейсу PI: - канал КА[00-07] програмується на режим «1» синхронного вводу молодшого байту інформації з цифрових N[00-07] виходів лічильника СТ2 сумісно зі стробувальним розрядом каналу КС; - канал КВ[08-15] програмується на режим «0» - простого вводу старшого байту інформації з цифрових N[08-15] виходів лічильника СТ2; - КС[04] – СТРА (строб каналу КА, в якості якого використовується сигнал кінець перетворення Кп.
 - 3.2 Програмна установка в нульовий стан елементів пам'яті: лічильного тригера Т, тригерів двійкового лічильника СТ2 і програмованого паралельного інтерфейсу PI. Здійснюється програмно в результаті запису із акумулятора в канал КС (розряд КС[00] такої послідовності: «0» «1» «0» - програмне формування одиничного імпульсу Уст «0».
4. Наступний крок - програмне опитування наявності прапорця в розряді КС[04]. Якщо КС[04]= «0», то опитування прапорця продовжується (умовний перехід) до тих пір (циклення), поки процес вимірювання частоти не завершиться КС[04]= «1».
5. Після появи прапорця в розряді КС[04]= «1» здійснюється спочатку читання молодшого байту N[00...07] з буферного регістра (порту) програмованого інтерфейсу PI, а потім старшого байту N[08...15] в акумулятор мікропроцесорної системи МПС.
6. Збільшується (інкрементування) на одиницю $ADR := ADR + 1$ адреса буфера оперативної пам'яті для зберігання наступних байтів з вимірюваною інформацією.
7. Зменшується (декрементування) на одиницю $n := n - 1$ значення лічильника вимірювань.
8. Перевіряється на нуль $n = 0$ лічильник вимірювань. Якщо $n = 0$, то процес вимірювань закінчується. Здійснюється умовний перехід на оператор «Кінець».
9. Якщо $n \neq 0$, програма драйвер здійснює умовний перехід до п.4 цього алгоритму.
10. За рівнянням $\omega = \frac{2\pi \cdot f_0}{Nz}$ визначають масив числових значень вимірюваної кутової швидкості.
11. Кінець

Отже, в діапазоні зміни кутової швидкості від нижньої ω_{\min} до верхньої межі ω_{\max} забезпечується її перетворення в двійковий код з відносною похибкою квантування, що не перевищує нормоване значення δ_{KH}

$$\delta_{KH} = \frac{\omega_{\max} \cdot z \cdot 100\%}{2\pi f_0} \quad (3)$$

Оскільки залежність відносної похибки квантування від зміни вимірюваної кутової швидкості лінійна, то можна дійти висновку, що нормоване значення δ_{KH} похибки квантування [1, 4] і обмежує верхню межу вимірювання

$$\omega_{\max} = \frac{2\pi f_0 \delta_{KH}}{z \cdot 100\%} \quad (4)$$

Отже, в результаті заміни аналогової величини ω , що має нескінчену кількість значень в діапазоні вимірювання (від ω_{\min} до ω_{\max}), обмеженою кількістю її миттєвих значень в задані проміжки часу T_D виникає похибка дискретизації [1-2]

$$\Delta_D = \frac{1}{2} T_D \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (5)$$

В (5) T_D крок дискретизації, який для вимірювального каналу [2, 5] визначається так:

$$T_D = t_{ADC} + t_{FL} + t_{DR}, \quad (6)$$

t_{ADC} – тривалість аналого-цифрового перетворення, яке дорівнює вимірюваному періоду

$$t_{ADC} = T_X. \quad (7)$$

t_{FL} – часові затрати на виконання підпрограми Flag очікування прапорця.

t_{DR} – час на виконання програмного драйвера Driver.

Максимальний час, необхідний для виконання команд асемблерних підпрограм Flag і Driver, оцінюють [5] за їхніми вихідними лістингами

$$t_{FL} = T_T \sum_{i=1}^n P_i, \quad (7)$$

$$t_{DR} = T_T \sum_{j=1}^m P_j, \quad (8)$$

де T_T – період тактової частоти f_T мікропроцесора CPU;

i – кількість команд у асемблерній підпрограмі Flag;

j – кількість команд у асемблерній підпрограмі Driver;

P_i, P_j – кількість тактів в одній команді.

З урахуванням (6) частота дискретизації вимірювального каналу кутової швидкості визначається як

$$f_D = \frac{1}{T_D} = \frac{1}{T_X + t_{FL} + t_{DR}}. \quad (9)$$

Подамо рівняння перетворення енкодера в такому вигляді:

$$f_D = \frac{\omega_{max} \cdot z}{2\pi}. \quad (10)$$

і отримаємо нерівність

$$\omega_{max} \leq \frac{f_D \cdot 2\pi}{z}, \quad (11)$$

яка показує, що обмежувальним чинником верхньої межі вимірювання кутової швидкості є не тільки нормоване значення похибки квантування δ_{KH} , але і значення частоти дискретизації f_D .

Висновки

Вперше отримано рівняння похибки дискретизації та доведено, що обмежувальним чинником верхньої межі вимірювання кутової швидкості є не тільки нормоване значення похибки квантування δ_{KH} , як вважалося раніше, але і значення частоти дискретизації f_D . Тому для розширення діапазону вимірювання (за рахунок збільшення верхньої межі вимірювання ω_{max}) запропоновано підвищувати не тільки швидкість апаратних засобів аналого-цифрового перетворення, але і зменшувати час виконання програмних драйверів передачі вимірювальної інформації в оперативну пам'ять мікропроцесорної системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кухарчук В.В. Основи метрології та електричних вимірювань / Конспект лекцій. Частина II: Вінниця: ВНТУ, 2020. – 155с.
2. Кухарчук В.В., Кучерук В.Ю., Володарський Є.Т., Грабко В.В. Основи метрології та електричних вимірювань : підручник / [Кухарчук В.В., Кучерук В.Ю., Володарський Є.Т., Грабко В.В.] – Херсон: Олді-плюс, 2013. -538с.
3. V. V. Kukharchuk V.F. Hraniak, Katsyv S. Sh., Holodiuk V. S. Torque measuring channels: dynamic and static metrological characteristics // Informatyka, Automatyka, Pomiaru w Gospodarce i Ochronie Środowiska – №3 – 2020 – P. 82 – 85.
4. Kukharchuk, V.V.; Pavlov, S.V.; Holodiuk, V.S.; and etc. Information Conversion in Measuring Channels with Optoelectronic Sensors. Sensors 2022,22,271. <https://doi.org/10.3390/s22010271>
5. Поджаренко В.О., Кухарчук В.В. Вимірювання і комп'ютерно-вимірювальна техніка: Навчальний посібник. – К.: УМКВО, 1991. -240с.

Кухарчук Василь Васильович — д.т.н., професор кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: bkuch@ukr.net

Кацив Самоїл Шулімович — к.т.н., доцент кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kacuv.s.s@vntu.edu.ua

Голодюк Володимир Сергійович — аспірант кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vgolodyk@gmail.com

Kukharchuk Vasyl V. — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Computerized Electromechanical Systems and Complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bkuch@ukr.net

Katsyv Samoil S. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computerized Electromechanical Systems and Complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kacyv.s.s@vntu.edu.ua

Holodiuk Volodymyr S. — Postgraduate Student of the Department of Computerized Electromechanical Systems and Complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vgolodyk@gmail.com