

## ОСОБЛИВОСТІ АПАРАТНО-ПРОГРАМНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ МІКРОКОНТРОЛЕРНИХ ТАХОМЕТРІВ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Запропоновано апаратно-програмну реалізацію мікроконтролерного тахометра миттєвих значень кутової швидкості в режимі реального часу протягом перехідного процесу електричної машини в широкому діапазоні її зміни: від  $10^{-3}$  до  $4 \cdot 10^3$  обертів за хвилину з наперед заданим нормованим значенням похибки квантування.

**Ключові слова:** мікроконтролерний тахометр, перехідна характеристика електричної машини, миттєві значення кутової швидкості, діапазон вимірювання, похибка квантування.

### Abstract

A hardware and software implementation of an angular velocity instantaneous values microcontroller real-time tachometer during the transient process of an electric machine in a wide range of its change is proposed: from  $10^{-3}$  to  $4 \cdot 10^3$  revolutions per minute with a predetermined normalized value of the quantization error.

**Keywords:** microcontroller tachometer, transient characteristics of an electric machine, instantaneous angular velocity values, measurement range, quantization error.

### Вступ

Переважно більшість випробувань електричних машин (ЕМ) здійснюють в досліді «холостого ходу». Основою тут є перехідна характеристика (змінна кутової швидкості в часі  $n(t)$ ), яку отримують в динамічному режимі роботи об'єкту вимірювання (електричної машини) при практично нульовому моменті опору на його валу ( $M_C \cong 0$ ).

Особливістю експериментальних досліджень цієї характеристики є визначення з високою точністю в режимі реального часу наявних на ній провалів, раптових викидів, синхронних провалів, які суттєво впливають на віброакустичні характеристики електричних машин. Другою, не менш важливою особливістю є максимальна швидкодія тахометра, реалізація якої забезпечує максимальну кількість вимірних значень кутової швидкості за час перехідного процесу електричної машини.

Метою роботи є апаратно-програмна підтримка забезпечення максимальної швидкодії мікроконтролерного тахометра для динамічних вимірювань кутової швидкості в широкому діапазоні її зміни протягом перехідного процесу електричних машин.

### Принцип дії і функція перетворення цифрового тахометра миттєвих значень

Для здійснення таких сумісних динамічних вимірювань зміни кутової швидкості в функції часу  $n(t)$  протягом перехідного процесу ЕМ переважна більшість дослідників [1] застосовує схему (рис.1) де в якості сенсора використовують енкодер (ЕК), вал якого через муфту спряження (МС) з'єднують з валом ЕМ.

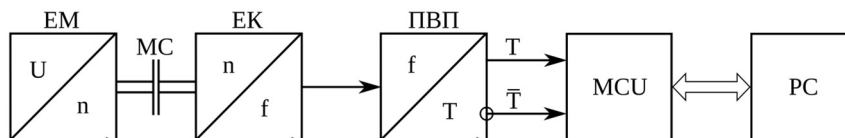


Рисунок 1

Із частоти  $f$  імпульсів з виходу ЕК пристрій виділення періоду (ПВП) формує прями  $T$  і інверсні  $\bar{T}$  періоди вихідної частоти енкодера, які квантуються періодами зразкової частоти  $T_0$  в таймерах мікроконтролера MCU, двійкові коди яких записуються в його оперативну пам'ять в режимі прямого доступу в пам'ять. За час перехідного процесу ЕМ в оперативній пам'яті мікроконтролера сформується масив вимірних значень [2] періодів в «примикаючих інтервалах» (рис.2).

Після завершення вимірювань даний масив переписують в пам'ять персонального комп'ютера РС. Здійснюють обробку результатів і їхнє подання різним споживачам у різному вигляді.

Після заживлення ЕМ (рис.1), в процесі обертання з'єднаних МС валів ЕМ і ЕК, останній (сенсор) перетворює кутову швидкість в послідовність електричних сигналів, частота яких визначається

$$f = \frac{n \cdot z}{60} \quad (1)$$

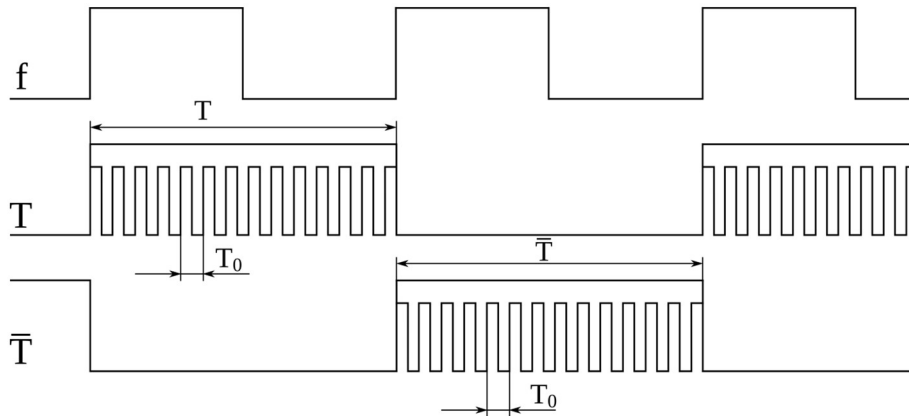


Рисунок 2

В таймерах мікроконтролера MCU відбувається квантування невідомих  $T$  і  $\bar{T}$  періодів зразковими  $T_0$  періодами тактової частоти MCU. В результаті порівняння вимірюваної і зразкової фізичних величин отримують функцію перетворення цифрового тахометра миттєвих значень, що однозначно пов'язує вхідну величину кутову швидкість  $n$  з вихідною величиною  $N$  кількістю імпульсів у двійковому лічильнику таймера

$$N = T \cdot f_0 = \frac{60 \cdot f_0}{n \cdot z} \quad (2)$$

В результаті квантування невідомих періодів  $T$  і  $\bar{T}$  зразковими періодами  $T_0$  відбувається заміна аналогової величини  $T$ , що має нескінчену кількість значень, обмеженою кількістю імпульсів  $N$  двійкових лічильників програмованих таймерів мікроконтролера. Що і є причиною появи похибка квантування, відносно значення якої оцінюють

$$\delta = \frac{1}{N} 100\% = \frac{n \cdot z}{60 \cdot f_0} 100\% \quad (3)$$

Аналіз наведених (2) і (3) рівнянь показує, що протягом перехідного процесу швидкість  $n$  зростає, а кількість імпульсів  $N$  зменшується. Зростає відповідно і похибка квантування.

### Діапазон вимірювання кутової швидкості

Визначимося з діапазоном вимірювання і законом зміни відносної похибки квантування протягом перехідного процесу електричної машини.

Нижня межа вимірювання обмежена [3] максимальною ємністю двійкового лічильника програмованого таймера мікроконтролера

$$N_{\max} = 2^n,$$

де  $n$  – розрядність двійкового лічильника.

Запишемо рівняння (2) у такому вигляді

$$N_{\max} = 2^n = \frac{60 \cdot f_0}{n_{\min} \cdot z} \quad (4)$$

З (4) отримаємо рівняння для оцінювання нижньої межі вимірювання

$$n_{\min} = \frac{60 \cdot f_0}{2^n \cdot z} \quad (5)$$

Верхня межа вимірювання обмежена [3] нормованим  $\delta_{KH}$  значенням відносної похибки квантування. З урахування цього подамо (3) у вигляді

$$\delta_{KH} = \frac{n_{\max} \cdot z}{60 \cdot f_0} 100\% \quad (6)$$

З (6) запишемо рівняння для оцінювання верхньої межі вимірювання

$$n_{\max} = \frac{\delta_{KH} \cdot 60 \cdot f_0}{100\% \cdot z} \quad (7)$$

Числові значення для оцінювання нижньої  $n_{\min}$  і верхньої  $n_{\max}$  меж вимірювання кутової швидкості структурної схеми, що наведена на рис.1, подано в табл.1.

$$n_{\min} = \frac{60 \cdot f_0}{2^n \cdot z} = \frac{60 \cdot 50 \cdot 10^6}{2^{32} \cdot 1500} \approx 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ об/хв}, \quad n_{\max} = \frac{\delta_{\text{КН}} \cdot 60 \cdot f_0}{100\% \cdot z} = \frac{0.2 \cdot 60 \cdot 50 \cdot 10^6}{100 \cdot 1500} = 4 \cdot 10^3 \text{ об/хв}.$$

Закон зміни відносної похибки квантування лінійний. В області зміни кутової швидкості від  $n_{\min}$  до  $n_{\max}$  відносна похибка квантування (рис.3) не перевищує нормоване значення  $\delta_{\text{КН}} \leq 0.2 \%$ .

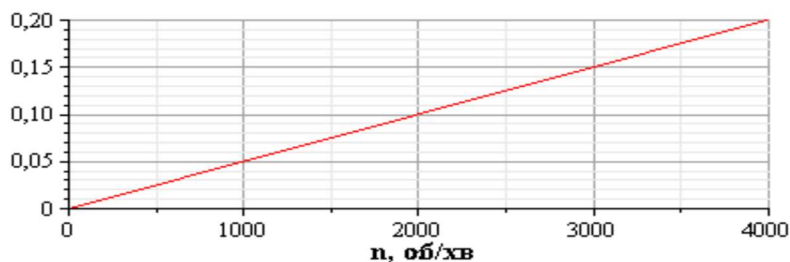


Рисунок 3

Таблиця 1 – Числові значення для оцінювання діапазону вимірювання

Найменування параметра	Одиниця вимірювання	Найменування параметра	Одиниця вимірювання
Розрізнявальна здатність енкодера	$z = 1500$	Розрядність програмованих таймерів	$n = 32$
Частота квантування	$f_0 = 50 \cdot 10^6$ Гц	Нормоване значення похибки квантування	$\delta_{\text{КН}} \leq 0.2 \%$

### Висновки

Аналіз основних метрологічних характеристик дозволив авторам запропонувати апаратно-програмну реалізацію мікроконтролерного тахометра, що забезпечує максимальну швидкості динамічних вимірювань кутової швидкості в широкому діапазоні її зміни (від  $n_{\min}$  до  $n_{\max}$ ) протягом перехідного процесу електричних машин.

Реалізація методу квантування періодами зразкової частоти  $T_0$  прямих і інверсних періодів вихідної частоти енкодера («примикаючих інтервалів») в таймерах мікроконтролера з наступним запам'ятовуванням отриманих в результаті лічби двійкових кодів  $N$  в оперативній пам'яті мікроконтролера в режимі прямого доступу в пам'ять забезпечує максимальну кількість значень кутової швидкості за час перехідного процесу.

Суттєвими відмінностями пропонованого алгоритму вимірювань є його двохетапність: перший етап – вимірювання кутової швидкості здійснюється в реальному часі протягом перехідного процесу ЕМ; другий етап – обробки отриманих результатів після завершення процесу вимірювання (перехідного процесу).

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Kukharchuk V.V., Holodiuk V.S. A tool for dynamic measurements of electric machines rotary motion parameters in transient operation modes. INTEGRATED INTELLIGENT ROBOTIC COMPLEXES (IIRTK-2021) THIRTEENTH INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE May 18-19, 2021 Kyiv, Ukraine. COLLECTION OF THESES. - Kyiv, 2021. - P.87.
- [2] Kukharchuk V.V., Kucheruk V.Y., Volodarskyi E.T., Grabko V.V. Fundamentals of metrology and electrical measurements: textbook, Kherson: Oldi-plus, 2013, 538p.  
Kukharchuk V., V. Kucheruk V.Y. Analysis of dynamic properties of tachometric converters, Technical electrodynamics, 2000, Part 1, P.103
- [3] Kukharchuk V.V. Fundamentals of metrology and electrical measurements, Outline of lectures. Part II: Vinnytsia: VNTU, 2020, 155 p.

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

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

**Дейбук Денис Валерійович** — студент групи 2ПІ-226, факультет інформаційних технологій і комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: deibukdenys@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.

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

***Deibuk Denys V.*** — Student of the Department of information technologies and computer engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: deibukdenys@gmail.com