

УДК 621.3

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ПРОМИСЛОВОЇ ЧАСТОТИ НА СТАБІЛЬНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРА STM32F051K8T6

Є.О. Зайцев, канд. техн. наук, А.С. Левицький, докт. техн. наук., Б.А. Кромплас, канд. техн. наук, М.В. Панчик, асп.  
Інститут електродинаміки НАН України,  
пр. Перемоги, 56, Київ, 03680, Україна.  
e-mail: ZaitsevIO@nas.gov.ua

*Наведено результати експериментального дослідження впливу магнітного поля промислової частоти на стабільність функціонування мікроконтролера. Останній призначений для розробки нових типів комп'ютеризованих вимірювачів параметрів механічних дефектів потужних генераторів із оптико-електронними елементами, що можуть працювати в умовах сильних магнітних полів промислової частоти. Розроблено та використано для експериментальних досліджень спеціальний стенд та відповідні алгоритми тестування. Отримано експериментальні результати для розрахунку залежності параметрів значення індукції в повітряному зазорі тестового осердя стенду від змінної напруги, що подається на неї. Встановлено, що внесення мікроконтролера серії Cortex-M0 в магнітне поле з величиною магнітної індукції від 0,1 до 0,6 Т не впливає на стабільність його функціонування. Бібл. 14, рис. 6, табл. 3.*

**Ключові слова:** генератор, вимірювання, експериментальні дослідження, магнітне поле, промислова частота, тангенціальна складова.

**Постановка проблеми.** Важливим завданням реконструкції вже існуючих потужних генераторів, а також розробки нових є підвищення надійності їх функціонування. Одним з головних шляхів підвищення надійності є використання гами спеціалізованих вимірювачів для реєстрації контрольно-діагностичних параметрів. У цьому разі значну кількість дефектів, що виникають в потужних генераторах, може бути виявлено у разі контролю механічних параметрів, відхилення яких від норми супроводжується зміною фізичних процесів у вузлах генератора і є характеристикою його технічного стану.

Засоби вимірювання параметрів механічних дефектів, що використовуються на цей час або морально застарілі, або не повною мірою задовольняють сучасним вимогам, або для їх використання необхідна значна адаптація до технічних характеристик генератора.

Перераховані проблеми значною мірою визначають необхідність розробки нових типів комп'ютеризованих вимірювачів параметрів механічних дефектів потужних генераторів із оптико-електронними елементами.

У свою чергу у разі розробки комп'ютеризованих вимірювачів необхідно враховувати, що генератори є потужними джерелами магнітних випромінювань промислової частоти [1], які буквально пронизують весь внутрішній об'єм генератора, присутні в окремих точках машинного залу і навіть у прилеглих приміщеннях [2]. У той же час для вимірювачів контрольно-діагностичних параметрів потужних генераторів, що працюють на електростанціях, ставляться досить високі вимоги відповідно до ДСТУ ІЕС 61000 «Електромагнітна сумісність» та НП 306.2.141-2008 «Загальні положення безпеки атомних станцій», які мають бути стійкими до впливу магнітного поля промислової частоти з напруженістю 30 А/м з критерієм якості функціонування А [3, 4].

В огляді відомої літератури описано вплив зовнішніх чинників на електронну апаратуру, зокрема, вплив температури [5, 6], радіаційного випромінювання [7, 8], електромагнітного імпульсу у разі спрацювання реле [9–11] та інші. В той же час результати досліджень впливу сильних магнітних випромінювань промислової частоти на мікроконтролери, що є складовою частиною комп'ютеризованих вимірювачів параметрів механічних дефектів потужних генераторів, практично відсутні.

Тому актуальною є задача розробки спеціальних методів і тестових програм, що дають змогу проконтролювати функціонування мікроконтролера і виявити причину виникаючих відмов у разі необхідності.

**Метою цієї статті** є розробка методів тестування та їх експериментальне використання для дослідження впливу тангенціальної складової поля промислової частоти на стабільність функціонування мікроконтролера STM32F051K8T6 для визначення можливості його застосування в комп'ютеризованих вимірювачах параметрів механічних дефектів потужних генераторів із оптико-електронними елементами.

**Матеріали і результати досліджень.** Для оцінки впливу магнітного поля промислової частоти застосовано спеціальний стенд [12], схема якого показана на рис. 1 (фото на рис. 3), та макет 6, на якому розміщений мікроконтролер STM32 серії Cortex-M0, що тестується. Стенд складається з осердя 1, котушки 2, джерела живлення 3 і вимірювача сили струму 4. У разі подачі змінної напруги  $U$  від джерела 3 на котушку 2 в повітряному зазорі  $\lambda$  осердя 1 створюється змінне магнітне поле з індукцією  $B_\lambda$ . Індукція  $B_\lambda$  викликає в спеціальній вимірювальній котушці 5, також розміщеній в зазорі  $\lambda$ , напругу  $U_{BK}$ , функціонально залежну від індукції  $B_\lambda$ .

Результати вимірювань для визначення функціональної залежності  $U_{BK} = f(B_\lambda)$  наведено в табл. 1. На рис. 2 наведено графічне відображення отриманої функціональної залежності з розрахованою за методом найменших квадратів функціональною залежністю, яка апроксимує отримані експериментальні дані лінійною залежністю типу  $y(x) = ax + b$ .

У разі проведення випробувань мікроконтролера STM32F051K8T6 проводилося зовнішнє тестування, що складалося з тестування типових арифметичних операцій в ядрі мікроконтролера, роботи оперативного запам'ятовуючого пристрою, який входить до складу мікроконтролера, та операцій з передачі даних за стандартним протоколом UART) [13, 14].

Випробувальний макет 6 містить мікроконтролер STM32F051K8T6, що розроблений на основі 32-розрядного процесора на ядрі ARM. Мікроконтролер STM32F051K8T6 має такі характеристики: об'єм вбудованої пам'яті становить 64 кБ Flash-пам'яті і 8КБ ОЗУ; мікросхема мікроконтролера виконана в 32-вивідному корпусі LQFP для поверхневого монтажу; всі лінії портів мікроконтролера виведені на роз'єми, розташовані за периметром плати (рис. 3) та є доступними з обох сторін; для живлення мікроконтролера використана напруга 3,3 В.

Випробовуваний макет із мікроконтролером 6 (STM32F051K8T6) розміщувався в зазорі поруч з вимірювальною котушкою 5. Контроль за виконанням зовнішнього тестування проводився за допомогою інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) 3 та компаратора кодів (КК) 7 (рис. 3).

Блок-схема взаємодії макета та інформаційно-вимірювальної системи складається з таких основних частин (рис. 3): мікроконтролер (МК) 1 типу "STM32F051K8T6", мікросхема 2 перетворювач інтерфейсів "USB to UART" типу "HC340G" та інформаційно-вимірювальна система (ІВС), в якості якої використано персональний комп'ютер 3 з відповідним програмно-математичним забезпеченням або ком-

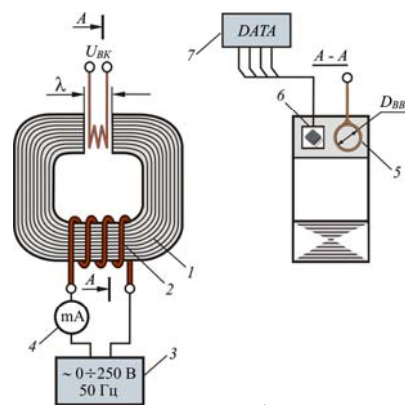


Рис. 1

Таблиця 1

$U$ , В	$I$ , А	$U_{BK}$ , В	$B_\lambda$ , Т
31	0,2	2,45	0,09
61	0,45	5,05	0,19
86	0,65	7,15	0,27
120	0,95	9,65	0,36
149	1,2	11,90	0,45
185	1,4	14,75	0,55
210	1,6	17,00	0,64
224	1,8	17,95	0,67

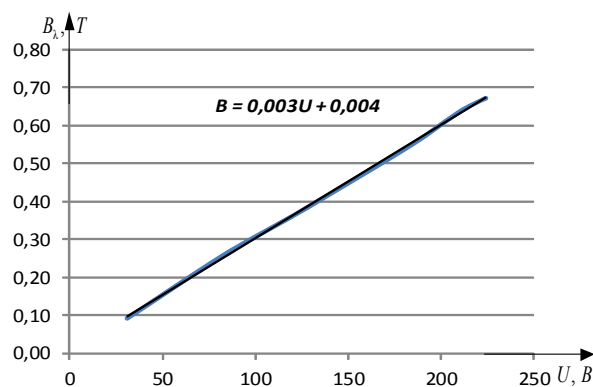


Рис. 2

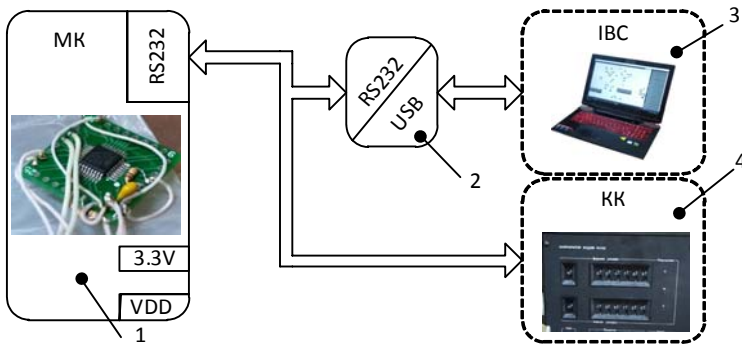


Рис. 3

творювач інтерфейсів "USB to UART" типу "HC340G"; 2 – "print" – пошук та виведення списку послідовних портів UART активних в IBC; 3 – формування послідовності даних, що передаються на обробку в МК; 4 – отримана послідовність даних з МК; append – блок запису результатів тестування в кінець файла; clear – очищення файла від попередніх результатів тестування; close – закриття послідовного порту UART; counter – лічильник імпульсів; loadband – ініціалізація початкових параметрів програмного забезпечення; open – відкриття текстового редактора; print – виведення отриманої послідовності тестових даних в консоль; print.diff – виведення в консоль повідомлення про помилку; qmetro – генератор тактових імпульсів, синхронізований з частотою процесора IBC; serial – блок роботи з послідовним портом UART; text – блок роботи з текстовим файлом; wclose – закриття текстового редактора; zl.group – блок групування вхідних даних у масив; zl.unique – блок порівняння даних переданої та прийнятої послідовності, формування контрольної суми.

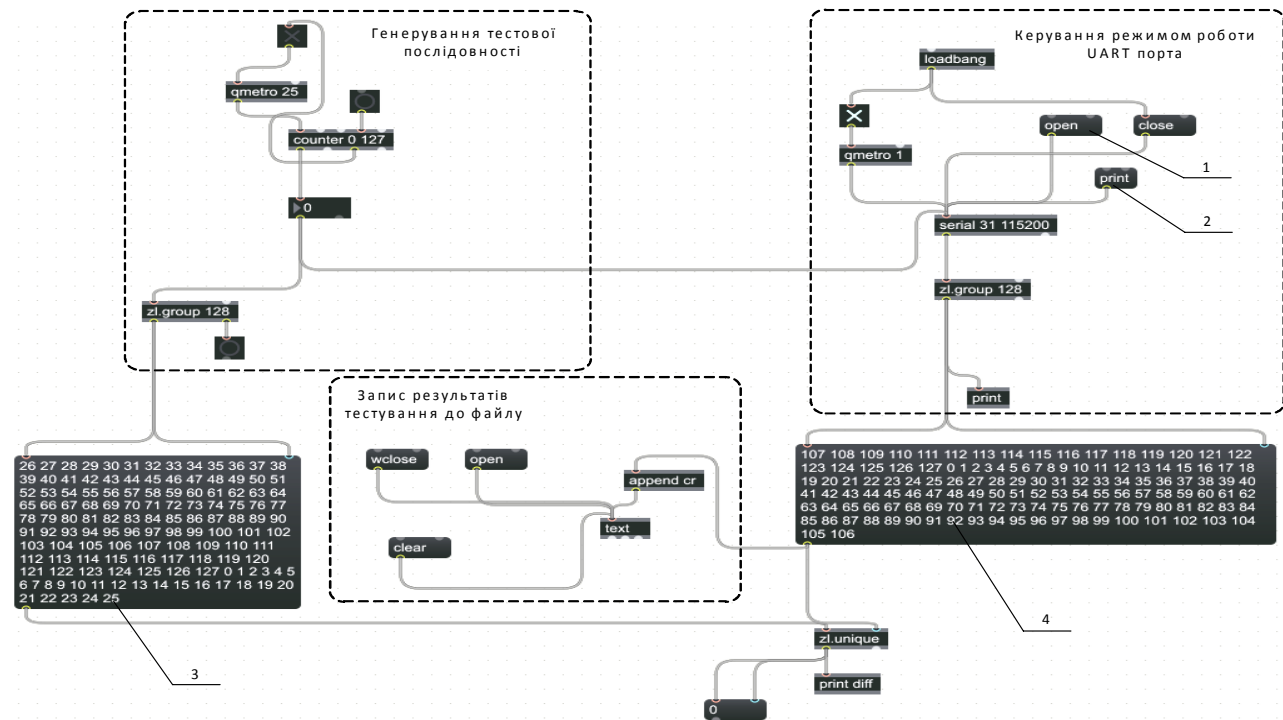


Рис. 4

Схему алгоритму програмного забезпечення представлено на рис. 5. Відповідно до розробленого алгоритму сформовані дані в IBC (блок 3 на рис. 4) у вигляді кодів подаються на перетворювач інтерфейсу 2 (рис. 3), де перетворюються в послідовний код типу NRZ. Далі з виходу перетворювача інтерфейсу 2 (рис. 3) коди подаються в МК 1 (рис. 3), що розміщений на стенді (рис. 2). МК 1 після отримання повного масиву даних P\_TX, формує масив даних, що подається на вхід перетворювача інтерфейсу 2 (рис. 3). Далі з виходу інтерфейсу масив даних передається до IBC (блок 4, рис. 4), де заноситься в масив P\_RX. Далі в IBC проводиться послідовне посимвольне порівняння кожного елемента масиву P\_TX з відповід-

паратор кодів Ф2102 (КК) 4.

У разі використання IBC для тестування використано спеціально розроблене програмне забезпечення мовою візуального програмування. Блок-діаграма розробленого програмного забезпечення наведена на рис. 4, на якому для блоків прийнято такі позначення: 1 – "open" – ініціалізація послідовних портів UART, до якого підключено пере-



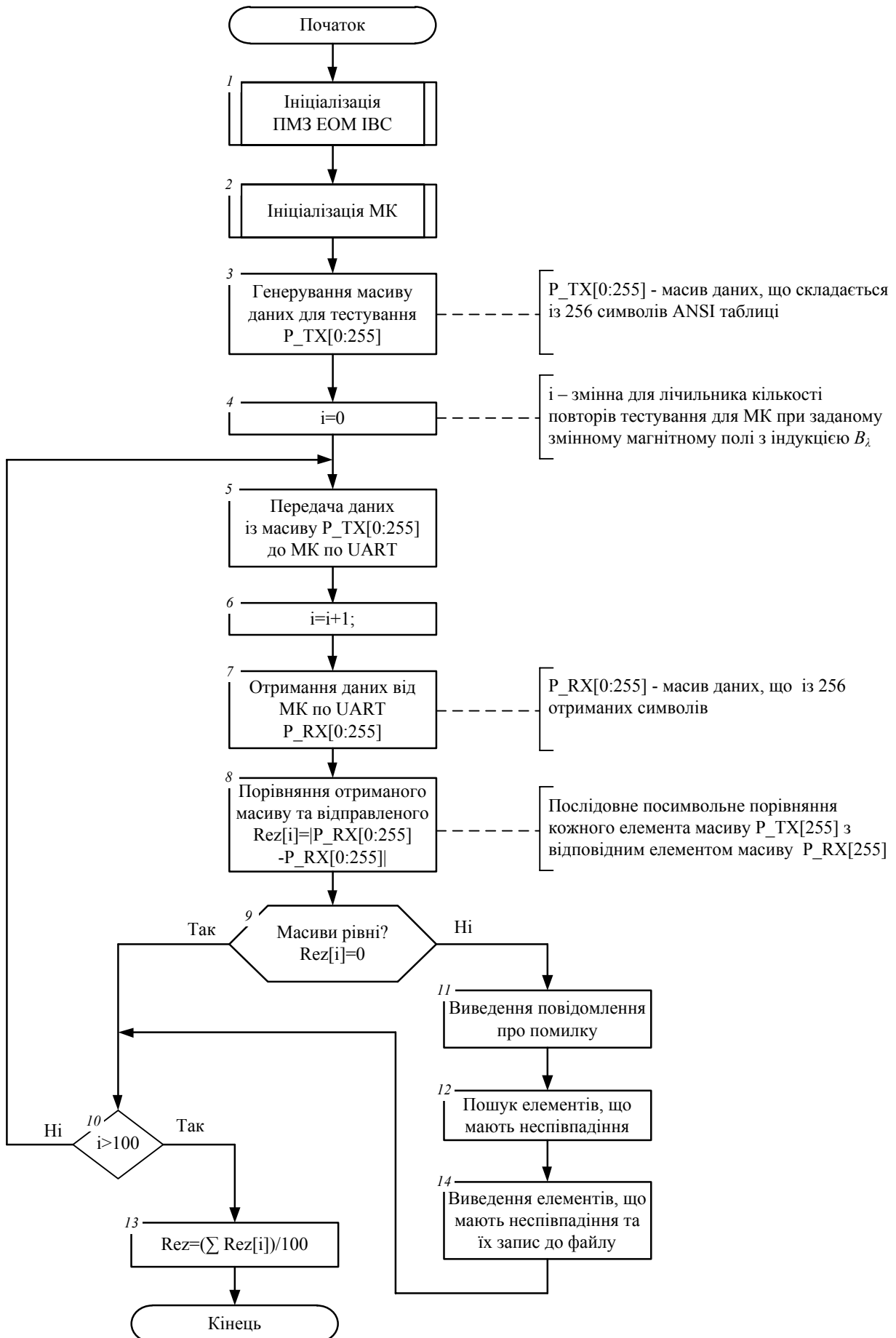


Рис. 5

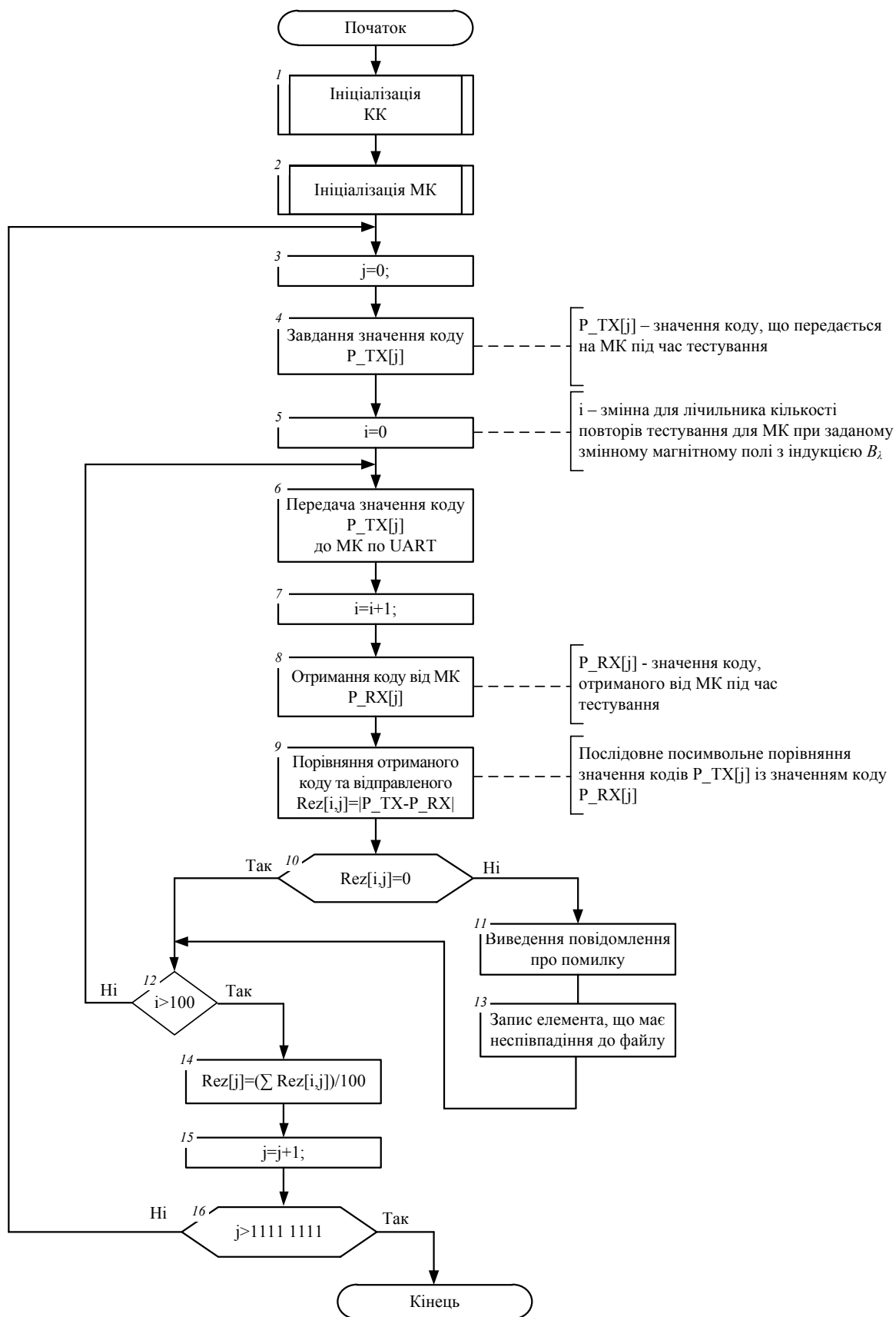


Рис. 6

З табл. 2 та 3 видно, що магнітне поле з величиною магнітної індукції від 0,1 до 0,61Т не впливає на стабільність функціонування 32-розрядного мікроконтролера STM32F051K8T6 серії Cortex-M0, що дає змогу використати його у разі створення комп'ютеризованих вимірювачів параметрів механічних дефектів потужних генераторів.

**Висновки.** 1. Отримані результати підтверджують можливість застосування 32-розрядного мікроконтролера STM32F051K8T6 серії Cortex-M0 у структурі комп'ютеризованих вимірювачів параметрів механічних дефектів потужних генераторів із оптико-електронними елементами у разі дії на них магнітного поля промислової частоти від 0,1 до 0,61 Т.

2. Отримані результати продемонстрували, що у разі внесення мікроконтролера STM32F051K8T6 серії Cortex-M0 в магнітне поле з величиною магнітної індукції від 0,1 до 0,61 Т його функціонування відповідає критерію А.

3. Отримані результати дають змогу встановлювати гранично-допустимі рівні заводостійкості до магнітного поля промислової частоти, за яких забезпечується стабільність функціонування комп'ютеризованих вимірювачів контрольно-діагностичних параметрів електрообладнання безпосередньо на електрогенеруючих об'єктах за критерієм А, у тому числі і АЕС.

1. ДСТУ 2465-94 Сумісність технічних засобів електромагнітна. Стійкість до магнітних полів частоти мережі. Технічні вимоги і методи випробувань (ІЕС 61000-4-8:1993) [Чинний від 1995-01-01]. Київ, 1995. 31с.
2. Воциньський К.В., Левицький А.С., Сорокіна Н.Л. Вплив електромагнітної обстановки ГЕС на контрольно-вимірювальну апаратуру. *Гідроенергетика України*. 2015. № 1-2. С. 33–36.
3. СТУ ІЕС 61000 «Електромагнітна сумісність».
4. НП 306.2.141-2008 «Загальні положення безпеки атомних станцій».
5. Zaitsev I.O., Levytskyi A.S., Kromplyas B.A. Characteristic of capacitive sensor for the air gap control system in the hydrogenerator. *2017 IEEE First Ukraine Conference On Electrical And Computer Engineering (UKRCON) May 29 – June 2, 2017 Kyiv, Ukraine*. 2017. Pp. 390–394.
6. Liang Z.H., Zhou C.L., Zhao S.G. et al. Analysis of Temperature Effect on Electromagnetic Susceptibility of Microcontroller, *Proc. of 2015 Asia-Pacific Conference on Environmental Electromagnetics (CEEM2015)*, Nov 4–7, 2015. Hangzhou, China. Pp. 312–315.
7. Лебедев А. В. Методы и аппаратно-программные средства функционального тестирования СБИС микроконтроллеров при проведении радиационных испытаний на дозовые воздействия: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.05. Москва, 2009. 32 с.
8. Кенсіцький О.Г., Кромпляс Б.А., Левицький А.С., Федоренко Г.М. Методи та засоби підвищення надійності виконавчих механізмів регульовально-запірної арматури трубопроводів АЕС: Київ: НАН України, Ін-т проблем безпеки АЕС. Чорнобиль (Київ. обл.), 2016. 136 с.
9. Гуревич В.И. Проблема электромагнитных воздействий на микропроцессорные устройства релейной защиты. Часть 1. *Компоненты и технологии*. 2010. № 2. С. 60–64.
10. Гуревич В.И. Проблема электромагнитных воздействий на микропроцессорные устройства релейной защиты. Часть 2. *Компоненты и технологии*, 2010. № 3. С. 91–96.
11. Гуревич В.И. Проблема электромагнитных воздействий на микропроцессорные устройства релейной защиты. Часть 3. *Компоненты и технологии*, 2010. № 4. С. 46–51.
12. Комаров Е.В., Покровский А.Д., Сергеев В.Г. Испытание магнитных материалов и систем. Москва: Энергоатомиздат, 1984. 376 с.
13. ДСТУ 2793-94. Сумісність технічних засобів електромагнітна. Стійкість до потужних електромагнітних завод. Загальні положення [Чинний від 1995-07-01]. Київ: Держстандарт України, 1994. 15 с.
14. ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги. [Чинний від 01.01.1996]. Київ: Держстандарт України, 1995. 86 с.

УДК 621.3

**Е.А. Зайцев**, канд. техн. наук, **А.С. Левицький**, докт. техн. наук, **Б.А. Кромпляс**, канд. техн. наук, **М.В. Панчик**, асп.

Институт электродинамики НАН Украины,  
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА STM32F051K8T6**

*Приведены результаты экспериментальных исследований влияния магнитного поля промышленной частоты на стабильность функционирования микроконтроллера. Последний предназначен для разработки новых типов компьютеризированных измерителей параметров механических дефектов мощных генераторов с оптико-электронными элементами, которые могут работать в условиях сильных магнитных полей промышленной частоты. Разработаны и использованы для экспериментальных исследований специальный стенд и соответствующие алгоритмы тестирования. Получены экспериментальные результаты для расчета зависимости параметров значения индукции в воздушном зазоре тестового сердечника стенда от переменного напряжения, подаваемого на нее. Установлено, что внесение микроконтроллера серии Cortex-M0 в магнитное поле с величиной магнитной индукции от 0,1 до 0,6 Т не влияет на стабильность его функционирования. Библи. 14, рис. 6, табл. 3.*

**Ключевые слова:** генератор, измерение, экспериментальные исследования, магнитное поле, промышленная частота, тангенциальная составляющая.

**I.O. Zaitsev, A.S. Levytskyi, B.A. Kromplyas, M.V. Panchyk**

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,  
Peremohy, 56, Kyiv-57, 03057, Ukraine

**STUDY INDUSTRIAL FREQUENCY MAGNETIC FIELD INFLUENCE ON STM32F051K8T6 MICROCONTROLLER FUNCTIONING STABILITY**

*In this paper shown that the means of measuring the parameters of mechanical defects that are currently used or obsolete, or not fully meet modern requirements, or to use them requires significant adaptation to the characteristics of the generator. These problems largely determine the need for new types of computerized parameters meter mechanical defects powerful generators of opto-electronic elements. It is shown computerized measuring instruments is necessary to consider that generators are powerful sources of industrial frequency magnetic radiation, which literally penetrate the entire internal volume of the generator, present in separate points of the engine room and even the surrounding areas. Measuring parameters of mechanical defects, work on power requirements are quite high and they should be resistant to the effects of industrial frequency magnetic field strength of 30 A / m functioning quality criterion A. The results of experimental studies of the influence of the magnetic field of an industrial frequency on the stability of the functioning of a microcontroller are presented. The latter is intended for the development of new types of computerized meters for the parameters of mechanical defects of powerful generators with optoelectronic elements that can operate under strong magnetic fields of industrial frequency. The special stand and corresponding testing algorithms have been developed and used for experimental research. The experimental results obtained for calculating the dependence of the parameters of the induction value in the air gap of the test core of the stand from the alternating voltage applied to it. It is established that the introduction of Cortex-M0 microcontroller in a magnetic field with magnitude of magnetic induction from 0.1 to 0.6 T does not affect the stability of its functioning by functioning quality criterion A. Refences 14, figures 6, tables 3.*

**Key words:** generator, measurement, experimental research, magnetic field, industrial frequency, tangential component.

1. DSTU 2465-94 Compatibility of technical means of electromagnetic. Resistance to magnetic field frequencies of the network. Technical requirements and test methods (IEC 61000-4-8: 1993) [Effective from 1 January 1995]. Kiev, 1995. 31 p.
2. Voshchynskyi K.V., Levytskyi A.C., Sorokina N.L. Influence of the electromagnetic environment of the HPS on the control-measuring equipment. *Gidroenergetika Ukrainy*. 2015. No 1-2. Pp. 33–36. (Ukr)
3. STU IES 61000 Electromagnetic compatibility.
4. NP 306.2.141-2008 General Safety Regulations for Nuclear Power Plants.
5. Zaitsev I.O., Levytskyi A.S., Kromplyas B.A. Characteristic of capacitive sensor for the air gap control system in the hydrogenerator. *2017 IEEE First Ukraine Conference On Electrical And Computer Engineering (UKRCON)* May 29 – June 2, 2017 Kyiv, Ukraine. 2017. Pp. 390–394.
6. Liang Z.H., Zhou C.L., Zhao S.G. et al. Analysis of Temperature Effect on Electromagnetic Susceptibility of Microcontroller, *Proc. of 2015 Asia-Pacific Conference on Environmental Electromagnetics (CEEM2015)*, Nov 4–7, 2015. Hangzhou, China. Pp. 312–315.
7. Lebedev, AV, Methods and Hardware-Software Means for Functional Testing of VLSI Microcontrollers During Radiation Tests for Dose Exposures: Author. dis. ... Cand. tech. Sciences: 05.13.05. Moscow, 2009. 32 p. (Rus)
8. Kentsitskiy O.G., Kromplyas B.A., Levytskyi A.C., Fedorenko G.M. Methods and means of increasing the reliability of actuators of regulating and closing fittings of NPP pipelines: monograph. Kyiv: NAS of Ukraine, Institute of Safety Problems of the NPP. Chernobyl (Kyiv region). 2016. 136 p. (Ukr)
9. Gurevich V.I. The problem of electromagnetic effects on microprocessor-based relay protection devices. Part 1. *Komponenty i tekhnologii*. 2010. No 2. Pp. 60–64. (Rus)
10. Gurevich V.I. The problem of electromagnetic effects on microprocessor-based relay protection devices. Part 2. *Komponenty i tekhnologii*. 2010. No 3. Pp. 91–96. (Rus)
11. Gurevich V.I. The problem of electromagnetic effects on microprocessor-based relay protection devices. Part 3. *Komponenty i tekhnologii*. 2010. No 4. Pp. 46–51. (Rus)
12. Komarov E.V., Pokrovskiy A.D., Sergeev V.G. Test of magnetic materials and systems. Moskva: Energoatomizdat, 1984. 376 p. (Rus)
13. DSTU 2793-94. Compatibility of technical means of an electromagnet. Resistance to strong electromagnetic interference. General Provisions [Effective from 1995-07-01]. Kyiv: Derzhstandard of Ukraine, 1994. 15 p.
14. DSTU 2862-94. Reliability of technology. Methods of calculation of reliability indicators. General requirements. [Effective as of 01.01.1996]. Kyiv: Derzhstandard of Ukraine, 1995. 86 p.