

## МІКРОПРОЦЕСОРНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАСОБУ ДЛЯ ВЕЙВЛЕТ-ДІАГНОСТУВАННЯ ГАЛЬМІВНОГО КОЛА ЧАСТОТНО-КЕРОВАНОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

*В роботі запропонована мікропроцесорна реалізація засобу для вейвлет діагностування гальмівного кола частотно-керованого асинхронного електропривода. Розроблено алгоритм функціонування засобу діагностування, та його апаратну частину, необхідну для побудови системи діагностування.*

*Ключові слова: вейвлет обробка сигналу, гальмівне коло, асинхронний електропривод, мікропроцесор.*

A.A BARTETSKYY

Vinnytsia National Technical University

### MICROPROCESSOR IMPLEMENTATION MEANS FOR THE WAVELET DIAGNOSIS THE BREAKING CIRCUIT OF FREQUENCY-CONTROLLED ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE

*Abstract – The aim is to improve the reliability of the frequency-controlled asynchronous electric drive by microprocessor implementation means for diagnosing its of braking circle based on a mathematical model of wavelet processing signal.*

*To implement the system was developed diagnostics structural diagram of wavelet diagnosing of braking circle frequency-controlled asynchronous electric drive developed structural diagram and algorithm block wavelet diagnosing of braking circuit.*

*Given the complexity of information processing, to solve this problem was made selection of modern microprocessor base microcontroller namely PIC32MZ. This type of microcontroller, due to well-developed periphery makes it easy to integrate the device into the overall control system of frequency circle and provides sufficient performance during its operation.*

*Keywords: wavelet signal processing, braking range, asynchronous electric drive, microprocessor.*

#### Постановка проблеми

Надійність роботи електропривода має першорядне значення як в промисловості, так і в сільському господарстві та на електротранспорті. А основою для сучасного автоматизованого енергоефективного виробництва є частотно-керований асинхронний електропривод, який застосовується в тих механізмах, де необхідне регулювання координат швидкості, положення та моменту в широкому діапазоні. За рахунок менших масо-габаритних показників та високої енергетичної ефективності, в порівнянні з іншими типами електропривода, частотно-керовані асинхронні електроприводи здобувають все більшу популярність, а сфера їх застосування стає все ширшою.

Враховуючи те, що вихід з ладу частотно-керованого асинхронного електропривода в цілому чи його компонентів може призвести до псування виробничого обладнання, зупинки виробництва, що призводить до великих матеріальних збитків, а також може становити загрозу життю чи здоров'ю робочому персоналу, або пасажиром, якщо мова йде про електротранспорт, створення пристроїв, які дозволяють проводити діагностування частотно-керованого асинхронного електропривода або їх складових, є актуальним.

#### Аналіз попередніх досліджень

Спосіб автоматичної діагностики системи з електроприводом [1] заснований на послідовній подачі тестових імпульсів, при цьому систему переводять в режим діагностики, при якому спочатку діагностують інформаційні канали зв'язку, блоку управління шляхом подачі тестових сигналів з виходів блоку управління на входи керуючого пристрою і аналізу керуючим пристроєм надходження тестових сигналів на своїх входах, при цьому справними інформаційними каналами зв'язку блоку управління вважаються ті канали, через які пройшли всі тестові сигнали протягом заданого часу і в заданій послідовності і завершують режим діагностики. Проте даний спосіб не дозволяє здійснювати діагностування систем електропривода безпосередньо в робочому режимі, для діагностування потрібно виводити електропривод в діагностичний режим, а діагностика гальмівного кола частотно-керованого асинхронного електропривода взагалі непередбачена, що робить такий спосіб не придатним для їх діагностування. В роботі [2] запропоновано спосіб діагностування трифазного інвертора. Принцип якого базується на використанні в якості діагностичних ознак струмів у фазах інвертора. Спосіб дозволяє виявити пошкоджену фазу, а також на основі середнього значення трифазного струму виявляються несправні силові ключі. Але автори не розглядають процесів у ланці постійного струму, і у випадку якщо перетворювач частоти обладнаний колом скиду енергії, таким способом не можливо попередити вихід із ладу силового ключа кола скиду енергії. Автори в статті [3] пропонують простий аналіз пошкоджень IGBT модуля багаторівневого інвертора для живлення асинхронно двигуна. Враховуючи те, що IGBT модуль, який виступає в якості ключового елемента гальмівного кола перетворювача частоти, працює на активне навантаження, то причини виходу з ладу IGBT модуль дещо відрізняються, як наслідок необхідно застосовувати інші методи діагностування силових IGBT модулів, що працюють в якості ключових елементів гальмівного кола частотно-керованого асинхронного електропривода.

### Мета роботи

Метою роботи є підвищення надійності роботи частотно-керованого асинхронного електропривода шляхом мікропроцесорної реалізації засобу для діагностування його гальмівного кола на основі математичної моделі вейвлет-обробки сигналів.

### Матеріали досліджень

В роботі [4] запропонована математична модель вейвлет діагностування гальмівного кола перетворювача частотно-керованого асинхронного електропривода. Суть такого діагностування полягає в тому, що на основі аналізу можливих причин виходу із ладу компонентів гальмівного кола частотно-керованого асинхронного електропривода виділяють діагностичні ознаки, відповідно яким сформовано таблицю станів гальмівного кола перетворювача частотно-керованого асинхронного електропривода (таблиця 1), в якій число «1» відповідає попаданню параметру в діапазон допустимих значень; «0» – виходу за межі зони допуску відповідної діагностичної ознаки.

Таблиця 1

Стани гальмівного кола перетворювача частотно-керованого асинхронного електропривода

Стани	Діагностичні ознаки гальмівного кола				
	$\Delta U_C$	$U_{vs0}$	$I_g$	$T^{\circ}_r$	$T^{\circ}_{vs0}$
$Q_0$	1	1	1	1	1
$Q_1$	1	0	1	1	0
$Q_2$	0	1	0	1	1
$Q_3$	0	0	1	1	0
$Q_4$	0	0	0	1	1

де  $Q_0$  – справний стан;  
 $Q_1$  – справний стан, з перегрівом силового модуля;  
 $Q_2$  – несправний гальмівний резистор;  
 $Q_3$  – критичний стан;  
 $Q_4$  – несправний стан;  
 $U_{vs0}$  – напруга на IGBT модулі;  
 $I_g$  – струм через гальмівний резистор;  
 $T^{\circ}_r$  – температура гальмівного резистора;  
 $T^{\circ}_{vs0}$  – температура IGBT модуля.

В режимі реального часу, під час роботи гальмівного кола перетворювача частоти відбувається вимірювання параметрів, які виступають в якості діагностичних ознак, а саме струм через гальмівне коло  $I_g$ , напруга на конденсаторі фільтра  $\Delta U_C$ , напруга  $U_{vs0}$ , і температура  $T^{\circ}_{vs0}$  на силовому IGBT модулі, та температура на гальмівному резисторі  $T^{\circ}_{vs0}$ . З виміряних параметрів, після перевірки діагностичних ознак на попадання в діапазон допустимих значень, формується поточний стан гальмівного кола. Для усіх табличних станів та для поточного стану застосовується пряме вейвлет перетворення Добеші 4-го порядку, в результаті чого отримуються зображення вейвлет-коефіцієнтів гальмівного кола (рис. 1).

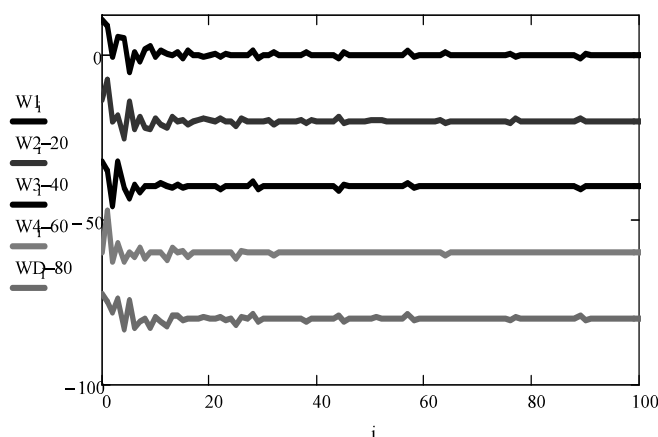


Рис. 1. Зображення вейвлет-коефіцієнтів станів гальмівного кола перетворювача частотно-керованого асинхронного двигуна ( $WD_i$  – стан гальмівного кола, що діагностується)

На основі кореляційного аналізу станів гальмівного кола формується діагностичний висновок як стан з максимальним коефіцієнтом кореляції, де коефіцієнт кореляції  $r$  обчислюється за формулою

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \left[ \left( W_x - \frac{W_x}{N} \right) \cdot \left( W_y - \frac{W_y}{N} \right) \right]}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N-1} \left( W_x - \frac{W_x}{N} \right)^2 \cdot \sum_{i=1}^{N-1} \left( W_y - \frac{W_y}{N} \right)^2}}, \quad (1)$$

де  $W_x, W_y$  – числові значення величин, між якими встановлюється кореляційний зв’язок.

Такий підхід дозволяє визначити ступінь наближення поточного стану гальмівного кола перетворювача частотно-керованого асинхронного електропривода до аварійного та своєчасно попередити як вихід з ладу електропривода, так і зупинку цілого технологічного процесу.

Структурна схема мікропроцесорної системи вейвлет-діагностування гальмівного кола частотно-керованого асинхронного електропривода наведена на рис. 2.

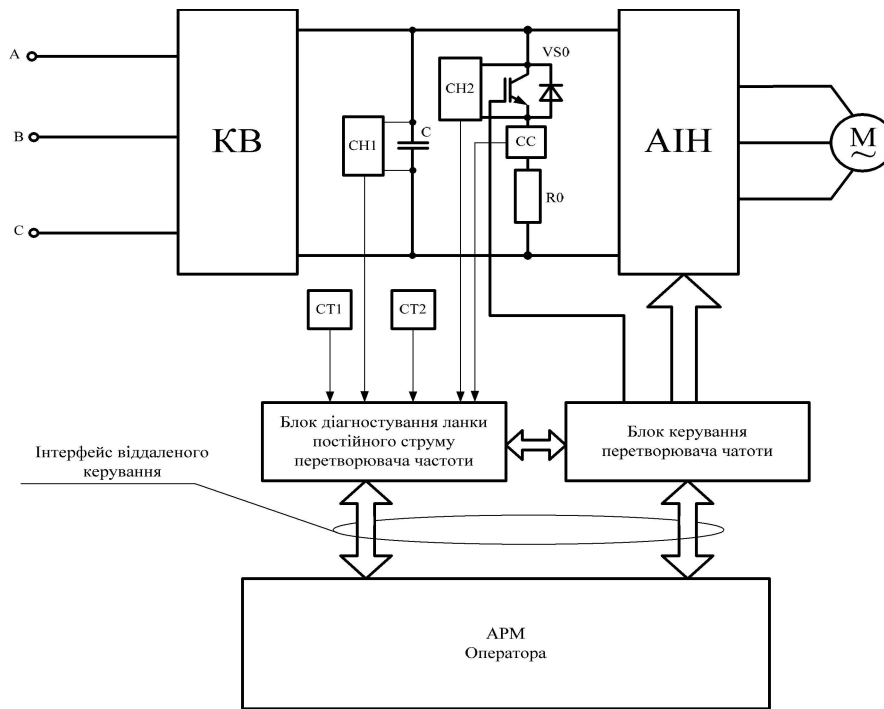


Рис. 2. Структурна схема мікропроцесорної системи вейвлет-діагностування гальмівного кола частотно-керованого асинхронного електропривода

На схемі CC – сенсор струму гальмівного кола; CH1, CH2 – сенсори напруги; CT1, CT2 – сенсори температури, KB – керований випрямляч; АИН – автономний інвертор напруги.

Структурна схема блока вейвлет-діагностування гальмівного кола частотно-керованого асинхронного електропривода зображена на рис.3.

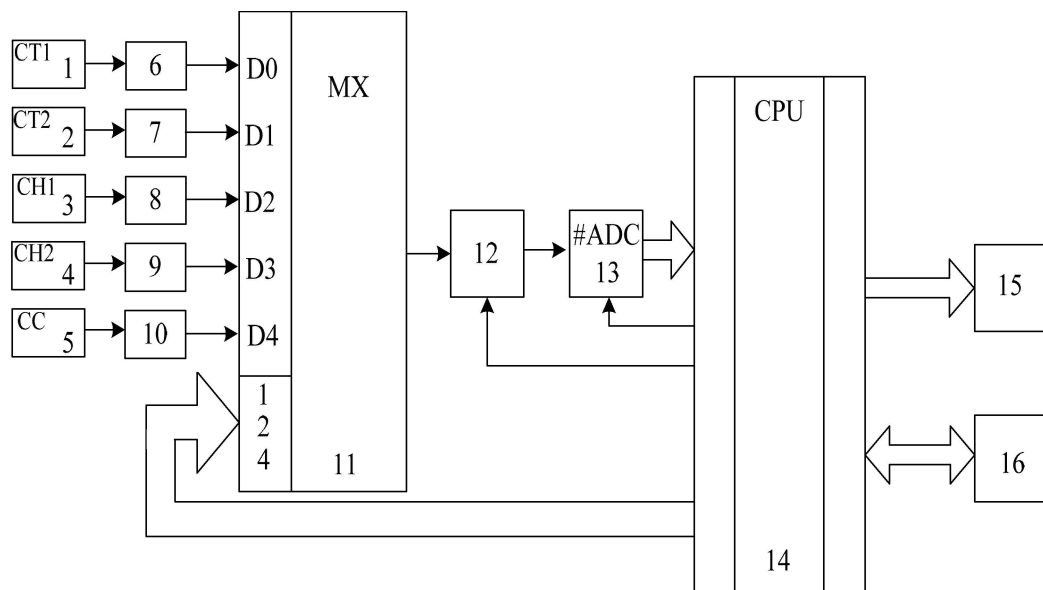


Рис. 3. Структурна схема блока вейвлет-діагностування гальмівного кола частотно-керованого асинхронного електропривода

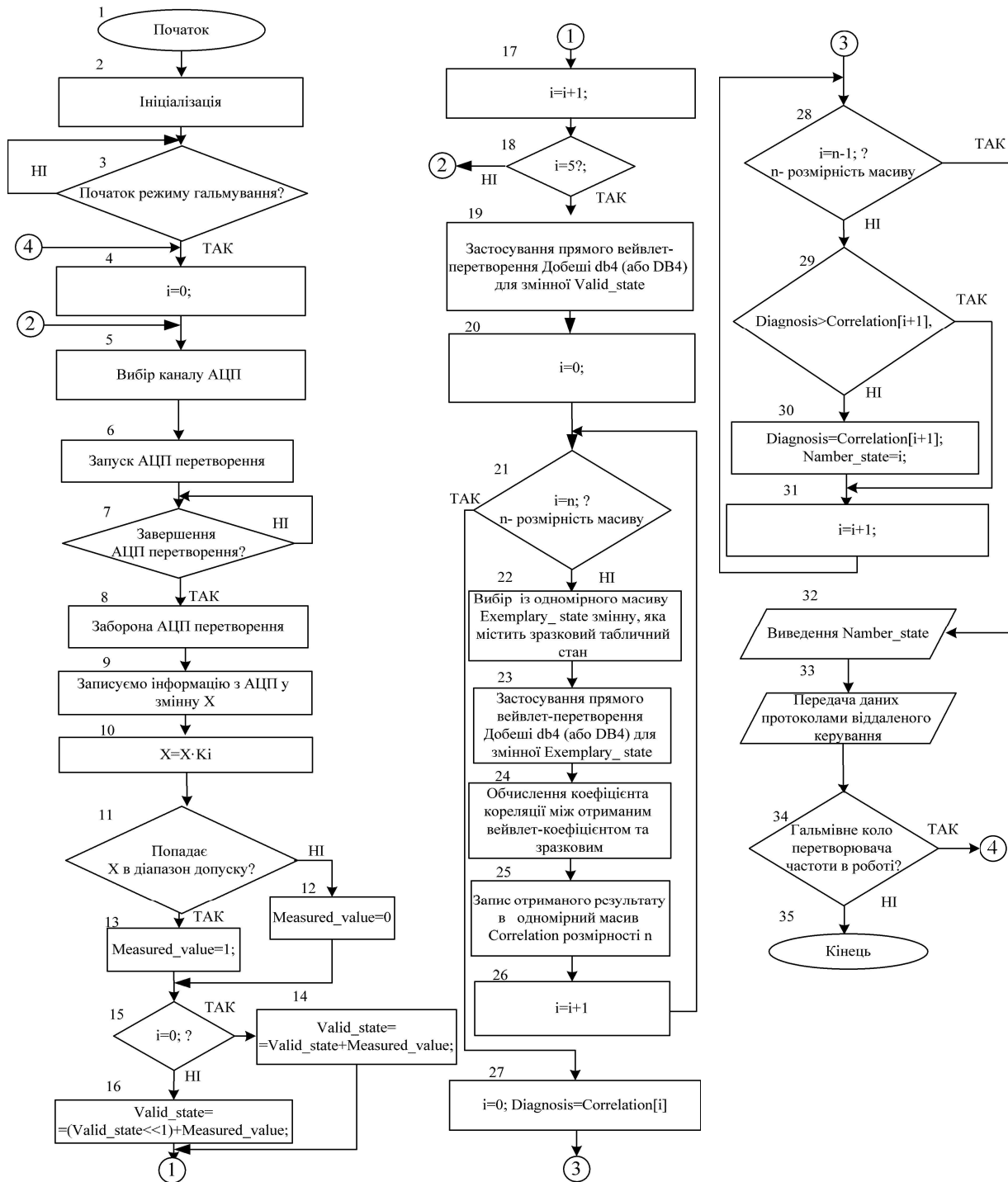


Рис. 4. Алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою вейвлет-діагностування гальмівного кола частотно-керованого асинхронного електропривода

На схемі: блоки 1-5 – сенсори; 6-10 – масштабуючі перетворювачі; 11 – мультиплексор; 12 – блок вибірки-зберігання; 13 – аналогово-цифровий перетворювач (АЦП); 14 – мікропроцесор; 15 – блок індикації; 16 – інтерфейсний перетворювач.

Блок діагностування гальмівного кола перетворювача частоти побудований на основі мікроконтролера, фірми Microchip PIC32MZ, на основі ядра MIPS microAptiv UP[5]. Згідно незалежного журналу Microprocessor Report, цей мікроконтролер є кращим у своєму класі, та перевершує конкуруючі мікроконтролери на основі ядр ARM [6].

Працює блок діагностування гальмівного кола так. Мікроконтролер підключає до входу АЦП відповідний канал, вимірює значення певного параметра. Після вимірювання відбувається перевірка вимірюваного параметра чи попадає він в діапазон допустимих значень. Вимірювання та обробка параметрів здійснюється аналогічно для сигналів із усіх сенсорів. В результаті вимірювань формується поточний стан гальмівного кола перетворювача частотно-керованого асинхронного електропривода. Далі програмно здійснюється пряме вейвлет перетворення Добеші 4-го порядку поточного стану гальмівного кола, в результаті чого отримуються вейвлет-коефіцієнти. В результаті кореляційного аналізу вейвлет-коефіцієнтів

зразкових станів, та поточного стану гальмівного кола за діагностичний висновок вибирається результат з найбільшим коефіцієнтом кореляції

Отриманий результат відправляється по послідовному інтерфейсу в систему автоматизації вищого рівня та виводиться на пристрій індикації.

Алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою вейвлет-діагностування гальмівного кола частотно-керованого асинхронного електропривода представлено на рис. 4.

Спочатку відбувається ініціалізація мікроконтролера, налаштування регістрів, портів введення-виведення інформації. Враховуючи наявність в мікроконтролері протоколів та інтерфейсів віддаленого керування, а саме Ethernet та два модуля CAN, інформацію про початок гальмування мікроконтролер отримує безпосередньо від кола частоти. У випадку, якщо на мікроконтролер поступив сигнал про початок гальмування, то у блоках 4-16 відбувається зчитування інформації із сенсорів та формування інформації про поточний стан гальмівного кола. У блоці 19 здійснюється пряме вейвлет перетворення Добеші 4-го порядку поточного стану гальмівного кола, внаслідок блоками 21-26 здійснюється кореляційний аналіз поточного стану гальмівного кола із кожним зразковим почергово. Блоками 27-31 здійснюється вибір результату з найбільшим коефіцієнтом кореляції. Блоками 32 – 33 здійснюється виведення інформації на пристрій індикації та передача інформації до АРМ оператора.

### Висновки

Запропоновано мікропроцесорний пристрій для реалізації системи вейвлет діагностування гальмівного кола частотно-керованого асинхронного електропривода. Здійснено синтез апаратного та програмного забезпечення, необхідного для реалізації мікропроцесорною засобу діагностування. Враховуючи складність обробки інформації, для вирішення даної задачі було здійснено вибір сучасної мікропроцесорної бази, а саме мікроконтролер PIC32MZ. Даний тип мікроконтролера, за рахунок добре розвиненої периферії, дає можливість легко інтегрувати пристрій в загальну систему керування кола частоти, та забезпечує достатню швидкодію в процесі його експлуатації.

### Література

1. Пат. РФ, МПК G05B23/02 (2006.01) Способ автоматической диагностики системы с электроприводом/ Сидоров Р. С., Хлыст С. В., Иванов А. Г., Кириченко М. Н., Пшеничников П. А., Замулин В.И., Дубровин А. Н., Лоскутов И. В., Петряев А. В., Сватов Н. С., - №2533877, бюл. №32, 20.11.14.
2. Mala RatanUbale, Open switch fault diagnosis in three phase inverter using diagnostic variable method/ Mala RatanUbale , R. B. Dhumale , S. D. Lokhande / International Journal of Research in Engineering and Technology/ Volume: 02 Issue: 12, Dec.-2013.
3. M. Dilip Kumar, Fault Analysis of Three Phase Inverter with Induction Motor Load/ M. Dilip Kumar , Dr. S. F Kodad , Dr. B. Sarvesh/ 3 rd International Conference on Electrical, Electronics, Engineering Trends, Communication, Optimization and Sciences (EEECOS)-2016, pp.523-528
4. Грабко В. В. Вейвлет діагностування гальмівного кола перетворювача частотно-керованого асинхронного електропривода/ В. В. Грабко, С. М. Левицький, А. А. Бартецький. – Енерго-та ресурсозберігаючі технології. – №1(2015). – С.9 – 13.
5. PIC32MZEmbeddedConnectivity, Technical Reference Manual – [Електроний ресурс]. Режим доступу: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/60001191F.pdf>
6. MicroprocessorReport– [Електроний ресурс].Режим доступу: <http://www.linleygroup.com/mpr/>

### References

1. Pat RF MPK, МПКG05B23/02 (2006.01)Sposob avtomaticheskoy diagnostiki sistemyi s elektroprivodom/ Sidorov R. S., Hlyist S. V., Ivanov A. G., Kirichenko M. N., Pshenichnikov P. A., Zamulin V.I., Dubrovin A. N., Loskutov I. V., Petryaev A. V., Svatov N. S., - №2533877, Biul. №32, 20.11.2014 [inRussian]
2. Mala RatanUbale, Open switch fault diagnosis in three phase inverter using diagnostic variable method/ Mala RatanUbale , R. B. Dhumale , S. D. Lokhande/ International Journal of Research in Engineering and Technology/ Volume: 02 Issue: 12, Dec.-2013.
3. M. Dilip Kumar, Fault Analysis of Three Phase Inverter with Induction Motor Load/ M. Dilip Kumar , Dr. S. F Kodad , Dr. B. Sarvesh/ 3 rd International Conference on Electrical, Electronics, Engineering Trends, Communication, Optimization and Sciences (EEECOS)-2016, pp.523-528
4. Grabko V. V. Veyvlet diagnostuvannya galmivnogo kola peretvoryuvacha chastotno-kerovanogo asinhronnogo elektroprivoda/ V. V. Grabko, S. M. Levitskiy, A. A. Bartetskiy– Energo-ta resurso zberigayuchi tehnologiyi. – №1(2015). – С. 9 – 13. [inUkrainian]
5. PIC32MZEmbeddedConnectivity, TechnicalReferenceManual – [Elektroni resurs]. Rezhym dostupu: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/60001191F.pdf>
6. Microprocessor Report– [Elektroni resurs]. Rezhym dostupu: <http://www.linleygroup.com/mpr/>

Рецензія/Peer review : 26.10.2016 р.

Надрукована/Printed : 8.11.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією