

МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПРИВОДА ВАКУУМНОГО ВИМИКАЧА

¹Вінницька філія ТОВ КСК-Автоматизація

Запропоновано мікропроцесорний пристрій для діагностування електромагнітного привода вакуумного вимикача. Встановлено, що від технічного стану електромагнітного привода залежить надійна робота вакуумного вимикача. Мікропроцесорні пристрої діагностування дозволяють контролювати якість виготовлених електромагнітних приводів на етапі вихідного контролю заводу-виробника та в процесі їх експлуатації у виробництві. На основі математичної моделі, якою передбачається вимірювання «еталонної» кривої магнітної характеристики після введення нового вимикача в експлуатацію або після його капітального ремонту та порівняння цієї кривої з вимірними магнітними характеристиками в процесі його подальшої експлуатації. В процесі експлуатації змінюється форма вебер-амперних характеристик обмоток електромагнітного привода вакуумного вимикача. Контроль відхилення від «еталонної» характеристики дозволяє оцінити поточний стан електромагніта та ступінь його зносу. Розроблено структурну схему мікропроцесорного пристрою системи діагностування електромагнітного привода вакуумного вимикача. Мікропроцесорний пристрій функціонує відповідно до розробленої математичної моделі. Основними компонентами пристрою є мікроконтролер AT32UC3L032, блоки комутації, сенсори струму та напруги. Мікроконтролер AT32UC3L032 є оптимальним варіантом за собівартістю та технічними характеристиками (низьке електроспоживання, висока щільність коду і висока продуктивність). Розроблено алгоритм функціонування пристрою діагностування, та його апаратну частину, необхідну для побудови системи діагностування. Робота пристрою передбачає визначення технічного стану привода, індикацію результату діагностування та передачу через інтерфейс перетворювача інформації про поточний стан електромагнітного привода з мікроконтролера в комп'ютер оперативного персоналу.

Ключові слова: вакуумний вимикач, діагностування, вебер-амперна характеристика, мікроконтролер, мікропроцесорний пристрій.

Вступ

В електроенергетичних системах напругою 6—35 кВ вакуумні вимикачі є одними з найвідповідальніших видів електрообладнання. Якість функціонування вакуумних вимикачів визначає ступінь надійності і електробезпеки роботи усєї системи передачі і розподілу електроенергії як в нормальних, так і в аварійних режимах [1]. Контроль і діагностика технічного стану вакуумних вимикачів дозволяє своєчасно виявляти дефекти або несправності, а потім оперативно їх усувати. Привод вакуумного вимикача відіграє важливу роль у надійній роботі вакуумного вимикача. Вакуумні вимикачі мають в основному два різновиди приводів: електромагнітні та пружинно-моторні. Найпростіші і надійніші — вимикачі з електромагнітним приводом, тому вони набули найбільшого поширення.

В результаті широкого застосування вакуумних вимикачів з електромагнітним приводом та зростаючою тенденцією розширення їх застосування виникає необхідність створення пристроїв діагностування електромагнітних приводів вакуумних комутаційних апаратів. Адже передчасний вихід з ладу електромагнітного привода вимикача може призвести до повного припинення подачі електроенергії населенню, припинення роботи промислових і сільськогосподарських підприємств, транспорту та інше. Тому створення пристроїв, які дозволяють проводити діагностування електромагнітного привода вакуумного вимикача або його складових, є задачею актуальною.

На сьогодні важливу роль у діагностуванні комутаційного обладнання відіграють цифрові при-

строї та системи на мікропроцесорній елементній базі [2]. Пристрій вимірювання вебер-амперних характеристик для електротехнічних приладів [3] побудований на основі методу гармонічного балансу. Основною його перевагою є підвищення точності вимірювання вебер-амперної характеристики за рахунок зменшення похибки, зумовленої зміною активної складової опору обмотки намагнічення. Проте цей винахід може використовуватись на етапі вихідного контролю в процесі виробництва електротехнічних пристроїв, а для діагностування технічного стану в процесі експлуатації його застосування є неможливим. Авторами робіт [4], [5] розроблена автоматична система MagHyst, яка дозволяє вимірювати квазістатичні характеристики магнітних матеріалів, проте ця система використовує власний внутрішній блок живлення та вимірювальні прилади, які не узгоджені з потужністю електромагніта вимикача, що обмежує експлуатацію вимірювальної системи з приводом вимикача. Авторами робіт [6], [7] запропоновано пристрій експрес-контролю магнітних параметрів для промислових систем управління. Принцип його базується на використанні оригінального сенсора магнітного потоку та контролі магнітних параметрів вимірювальної обмотки. Цей пристрій використовується для контролю магнітних параметрів листової електротехнічної сталі та магнітопроводів з обмоткою на етапі перевірки якості виготовленої продукції і тому не може бути застосований для діагностування привода під час його роботи. Автори статті [8] пропонують метод непрямого визначення вебер-амперних характеристик з урахуванням зміни активної складової опору вимірювальної обмотки, але в роботі не описано алгоритм визначення технічного стану електромагніта, а лише процедуру вимірювання та розрахунку вебер-амперної характеристики.

Метою роботи є підвищення надійності роботи вакуумного вимикача за рахунок створення мікропроцесорного пристрою діагностування електромагнітного привода вакуумного вимикача, який дозволяє визначати поточний технічний стан електромагнітного привода на основі порівняння поточних вебер-амперних характеристик електромагніта з «еталонними».

Результати дослідження

В роботі [9] запропонований метод діагностування електромагнітного привода вакуумного вимикача на основі вебер-амперних характеристик. Суть такого діагностування полягає у вимірюванні «еталонної» кривої магнітної характеристики обмотки ввімкнення/вимкнення після введення нового вимикача в експлуатацію або після його капітального ремонту та порівняння цієї кривої з виміряними магнітними характеристиками в процесі його подальшої експлуатації. Зміна форми кривої відображає ступінь зносу, розрегулювання рухомих частин або погіршення провідних властивостей електромагнітного привода вакуумного вимикача. Математична модель, яка описує процес діагностування має вигляд

$$\left\{ \begin{array}{l} d\Psi_i = (U_i - I_i \cdot R_a)(t_i - t_{i-1}), \\ \Psi_i = \Psi_{i-1} + d\Psi_i, \\ \delta\Psi_i^2 = \left(\frac{(\Psi_{i.e} - \Psi_{i.em})}{\Psi_{i.em}} \right)^2, \\ K_B = \sum_{i=1}^N \delta\Psi_i^2, \\ K_B \leq K_{ГР1} \rightarrow \text{справний стан,} \\ K_{ГР1} < K_B \leq K_{ГР2} \rightarrow \text{на межі несправності,} \\ K_B > K_{ГР2} \rightarrow \text{несправність,} \end{array} \right. \quad (1)$$

де i — порядковий номер кроку вимірювання; U_i — значення напруги живлення обмотки електромагніта; I_i — значення струму, який протікає через обмотку електромагніта; R_a — активний опір обмотки електромагніта; t_i — час, протягом якого здійснюється вимірювання напруги та струму; $d\Psi_i$ — диференціали потокозчеплення на i -му кроці вимірювання; Ψ_i — значення потокозчеплення на i -му кроці вимірювання; $\Psi_{i.e}$ — поточне значення потокозчеплення розраховане на i -му кроці вимірювання; $\Psi_{i.em}$ — еталонне значення потокозчеплення розраховане на i -му кроці вимірювання; $\delta\Psi_i^2$ — відносний квадрат відхилення між еталонними та поточними значеннями i -му кроці вимірювання; K_B — відносний квадрат відхилення між еталонними та поточними вебер-амперної ха-

ктеристики; $K_{ГР1}$, $K_{ГР2}$ — граничні коефіцієнти, які відповідають технічному стану електромагнітного привода вимикача.

Запропоновано структурну схему мікропроцесорного пристрою системи діагностування електромагнітного привода вакуумного вимикача (рис. 1), який функціонує згідно з математичною моделлю (1).

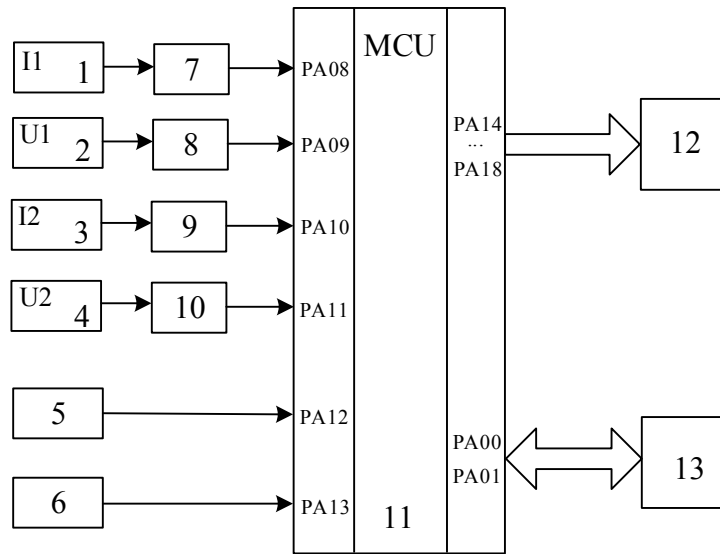


Рис. 1. Структурна схема блока діагностування електромагнітного привода вакуумного вимикача: 1 — сенсор для вимірювання струму обмотки ввімкнення; 2 — сенсор для вимірювання напруги на обмотці ввімкнення; 3 — сенсор для вимірювання струму обмотки вимкнення; 4 — сенсор для вимірювання напруги на обмотці вимкнення; 5 — блок сигналізації процесу ввімкнення; 6 — блок сигналізації процесу вимкнення; 7—10 — масштабуючі перетворювачі; 11 — мікроконтролер; 12 — блок індикації; 13 — інтерфейсний перетворювач

Для реалізації запропонованої системи діагностування електромагнітного привода вимикачів використаємо, наприклад, 32-розрядний високопродуктивний мікроконтролер AT32UC3L032 виробника Microchip Technology. Цей контролер має оптимізовану структуру команд, 48 програмованих каналів портів вводу/виводу та іншу периферію [10].

Працює блок діагностування електромагнітного привода вимикача так. За допомогою сенсорів струму 1 і 3 та сенсорів напруги 2 і 4 вимірювані сигнали надходять в мікроконтролер 11. Сигнали струму і напруги нормуються у блоках 7—10 і подаються на входи мікроконтролера 11. Блоки 5 і 6 надсилають сигнали про початок та кінець процесу ввімкнення/вимкнення вимикача. Після вимірювання відбувається розрахунок поточної вебер-амперної характеристики для процесу ввімкнення або вимкнення вимикача та порівняння її з «еталонною» характеристикою. На основі порівняння магнітних кривих формується діагностичний висновок про технічний стан електромагніта. Блок індикації 12 призначений для індикації результату діагностування безпосередньо біля пристрою діагностування. Інтерфейсний перетворювач 13 забезпечує передачу даних про поточний стан електромагнітного привода з мікроконтролера 11 в комп'ютер оперативного персоналу.

Алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою діагностування технічного стану електромагнітного привода вакуумного вимикача показано на рис. 2.

Спочатку відбувається ініціалізація мікроконтролера, налаштування регістрів, портів введення-виведення інформації. У блоках 3, 4 відбувається перевірка операції роботи вимикача. Для процесу вимкнення здійснюється призначення регістра R101 для запису в пам'ять контролера вимірювальних даних (блок 5), для процесу ввімкнення регістра R100 (блок 6). У блоці 7 здійснюється зчитування інформації з сенсорів струму та напруги електромагніта вимикача. В блоках 8 та 9 здійснюється розрахунок поточної вебер-амперної характеристики та відносного квадрата відхилення. У блоках 10—12 порівнюється відносний квадрат відхилення K_B та граничні коефіцієнти $K_{ГР1}$, $K_{ГР2}$. В блоках 13—15 визначають поточний стан електромагнітного привода вакуумного вимикача. У блоці 16 здійснюється запис результату діагностування у пам'ять мікроконтролера. Блоки 17, 18 забезпечують виведення інформації на пристрій індикації та передачу інформації до оператора.

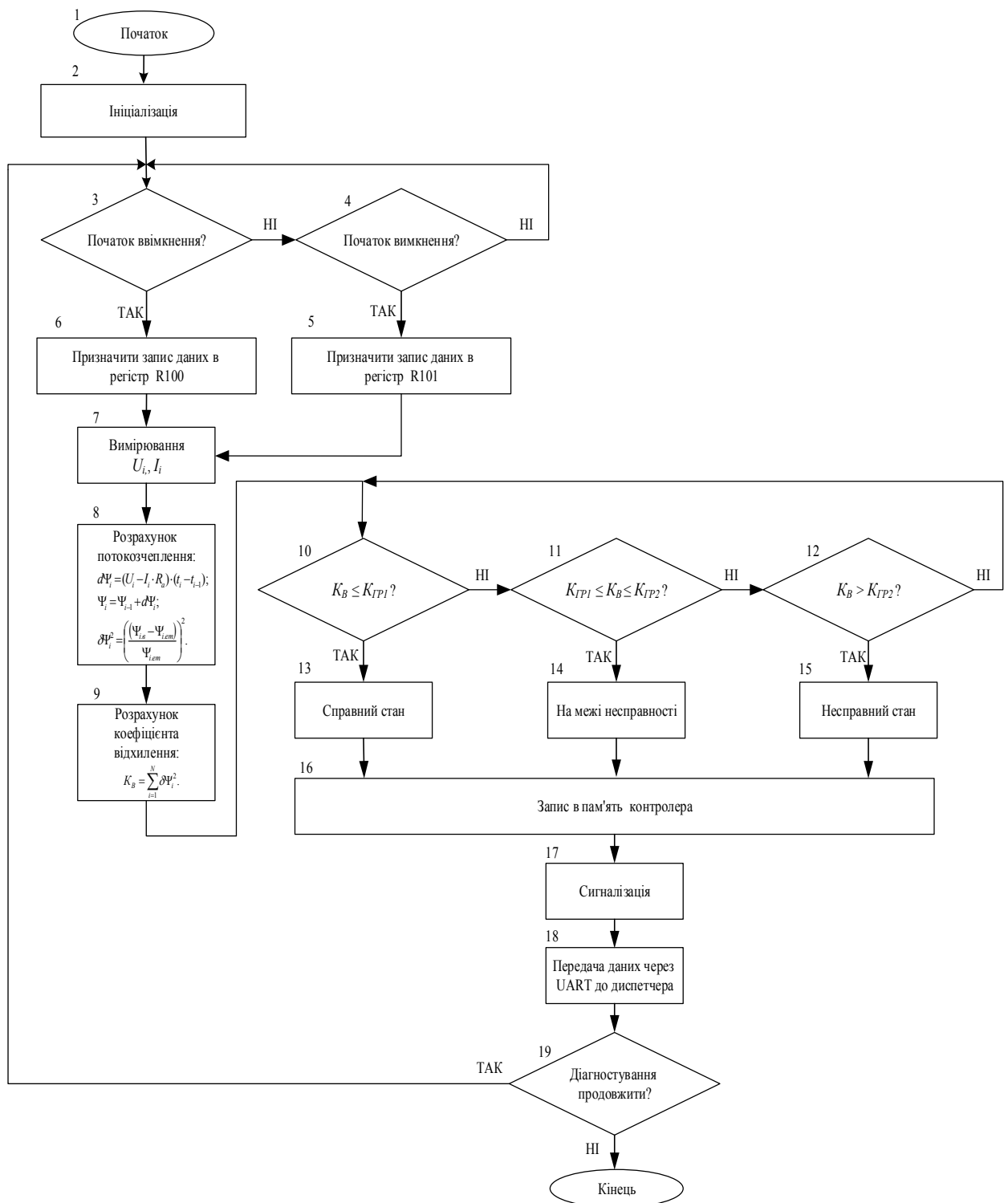


Рис. 2. Алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою діагностування електромагнітного привода вакуумного вимикача

Висновки

Запропоновано мікропроцесорний пристрій для реалізації системи діагностування електромагнітного привода вакуумного вимикача. Здійснено синтез апаратного та програмного забезпечення, необхідного для реалізації мікропроцесорною засобу діагностування привода вимикача. Враховуючи складність обробки інформації, для розв'язання цієї задачі здійснено вибір сучасної мікропроцесорної бази, а саме мікроконтролера AT32UC3L032. Розроблено алгоритм роботи пристрою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] О. С. Рубаненко, *Вдосконалення методів і засобів діагностування високовольтних вимикачів*, монографія. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2012.
- [2] Г. М. Михеев, *Цифровая диагностика высоковольтного оборудования*. Москва, Россия: Изд. дом «ДОДЭКА», 2009.
- [3] М. В. Ланкин, А. М. Ланкин, Н. И. Горбатенко, и К. В. Клевец, «Устройство измерения вебер-амперных характеристик для электротехнических устройств», *Патент РФ, № 2639622 МПК G01R33/14 (2006.01)*, 19.12.2017.
- [4] J. Baumbach, E. Kallenbach, U. Kucera, und K. Neumann, “MagHyst®-modular — ein universelles Gerät zur Messung magnetischer Größen und Kennlinien an Materialien, Halbzeugen und Magnetaktoren,”. *Messeartikel für die Sensor+Test*, 2009.
- [5] U. Glet, “Verfahren und Vorrichtung zum Ermitteln von magnetischen Kenngrößen,” *Patent DE 102005011227A1*, Br. 11, 2005.
- [6] Д. В. Шайхутдинов, В. В. Гречихин, и В. В. Боровой, «Методы и приборы экспресс-контроля магнитных параметров для промышленных систем управления», *Современные проблемы науки и образования*, № 6, с. 1-7, 2012.
- [7] К. М. Широков, Д. В. Шайхутдинов, В. И. Дубров, С. Г. Январев, Ш. В. Ахмедов, и М. В. Шайхутдинова, «Устройство магнитного контроля для подсистемы управления производством электротехнических изделий», *Современные проблемы науки и образования*, № 6, с. 1-8, 2013.
- [8] А. А. Сахавова, К. М. Широков, и С. Г. Январёв, «Применение метода косвенного определения вебер-амперных характеристик в автоматизированной системе безсенсорной диагностики электромагнитных механизмов», *Современные проблемы науки и образования*, № 5, с. 1-7, 2013.
- [9] В. В. Грабко, та О. В. Дідушок, «Метод діагностування електромагнітного привода вакуумного вимикача на основі вебер-амперних характеристик», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 6, с. 53-61, 2018.
- [10] 32-bit Atmel AVR Microcontroller AR32UC3L032 [Online]. Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc32099.pdf>. Accessed on: December 12, 2019.

Рекомендована кафедрою радіотехніки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 16.12.2019

Дідушок Олег Васильович — провідний інженер автоматизованих систем керування виробництвом, e-mail: didushokov@gmail.com.

Вінницька філія ТОВ КСК-Автоматизація, Вінниця

O. V. Didushok¹

Microprocessor Device for Diagnosing the Electromagnetic Drive of the Vacuum Circuit Breaker

¹CSC-Automation Vinnytsia Branch

The paper proposes a microprocessor device for diagnosing the electromagnetic drive of a vacuum switch. It is investigated that the reliable operation of the vacuum switch depends on the technical condition of the electromagnetic actuator. Microprocessor diagnostic devices allow controlling the quality of manufactured electromagnetic actuators at the stage of initial control of the manufacturer and in the process of their operation in production. On the basis of a mathematical model, which provides for the measurement of the "reference" curve of the magnetic characteristic after the new switch is put into operation or after its overhaul and comparison of this curve with the subsequent measured magnetic characteristics in the course of its further operation. During operation, the shape of the web-ampere characteristics of the windings of the electromagnetic drive of the vacuum switches changes. The control of deviation from the "reference" characteristic allows estimating the current state of the electromagnet and its degree of wear. The block diagram of the microprocessor device of the system of diagnostics of the electromagnetic drive of the vacuum switch is developed. The microprocessor device functions according to the developed mathematical model. The main components of the device are the AT32UC3L032 microcontroller, switching units, current sensors and voltages. The AT32UC3L032 microcontroller is the best option in terms of cost and specifications (low power consumption, high code density, and high performance). The algorithm of functioning of the diagnostic device and its hardware necessary for the construction of the diagnostic system has been developed. The operation of the device involves determining the technical condition of the drive, indicating the result of the diagnosis on the display device near the diagnostic device and transmitting through the interface of the converter the current status of the electromagnetic drive from the microcontroller to the computer operating personnel.

Keywords: vacuum circuit breaker, diagnostics, weber-ampere characteristic, microcontroller, microprocessor device.

Didushok Oleh V. — Industrial Process Automatization Engineer, e-mail: didushokov@gmail.com

Микропроцессорное устройство для диагностики электромагнитного привода вакуумного выключателя

¹Винницкий филиал ООО КСК-Автоматизация

Предложено микропроцессорное устройство для диагностирования электромагнитного привода вакуумного выключателя. Доказано, что от технического состояния электромагнитного привода зависит надежная работа вакуумного выключателя. Микропроцессорные устройства диагностирования позволяют контролировать качество изготовленных электромагнитных приводов на этапе выходного контроля завода-изготовителя и в процессе их эксплуатации в производстве. На основе математической модели, предусматривающей измерения «эталонной» кривой магнитной характеристики после введения нового выключателя в эксплуатацию или после его капитального ремонта и сравнения этой кривой со следующими измеренными магнитными характеристиками в процессе его дальнейшей эксплуатации. В процессе эксплуатации изменяется форма вебер-амперных характеристик обмоток электромагнитного привода вакуумного выключателя. Контроль отклонения от «эталонной» характеристики позволяет оценить текущее состояние электромагнита и степень его износа. Разработана структурная схема микропроцессорного устройства системы диагностирования электромагнитного привода вакуумного выключателя. Микропроцессорное устройство функционирует в соответствии с разработанной математической моделью. Основными компонентами устройства является микроконтроллер AT32UC3L032, блоки коммутации, сенсоры тока и напряжения. Микроконтроллер AT32UC3L032 является оптимальным вариантом по себестоимости и техническим характеристикам (низкое электропотребление, высокая плотность кода и высокая производительность). Разработан алгоритм функционирования устройства диагностирования, и его аппаратная часть, необходимая для построения системы диагностирования. Работа устройства предусматривает определение технического состояния привода, индикацию результата диагностирования и передачу через интерфейс преобразователя информации о текущем состоянии электромагнитного привода с микроконтроллера в компьютер оперативного персонала.

Ключевые слова: вакуумный выключатель, диагностирование, вебер-амперная характеристика, микроконтроллер, микропроцессорное устройство.

Дидушок Олег Васильевич — ведущий инженер автоматизированных систем управления производством, e-mail: didushokov@gmail.com