УДК 621.316.926 DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-229-236

ПРИСТРІЙ ЗАХИСТУ ГРУПИ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Курашкін С. Ф., к. т. н.,
Попова І. О., к. т. н.
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
e-mail: *etem@tsatu.edu.ua*

Анотація **– експлуатація асинхронних електродвигунів у складі електромеханічної системи передбачає підтримання їх надійності на рівні, що забезпечить довготривалу роботу, не менш за нормований термін служби, який гарантований виробником. Найбільш уразливим елементом конструкції електродвигуна є його обмотка взагалі, і зокрема її ізоляція. Для підвищення експлуатаційної надійності електродвигунів розробники проектують нові пристрої захисту, оскільки з часом оновлюється елементна база електронних компонентів, що дає можливість застосовувати новітні методи для рішення задач, котрі неможливо було вирішити раніше. У роботі висунуті вимоги, яким повинен задовольняти пристрій захисту групи електродвигунів і розроблена його структурна і принципова схеми. Основою пристрою є мікроконтролер, який обчислює час припустимої роботи кожного електродвигуна, що входить до групи захисту, в разі його перевантаження, коли збільшення температури обмотки перевищує критичного рівня. Відключення групи електродвигунів відбувається не одразу, а після розрахованої мікроконтролером витримки часу за умови припустимої витрати ресурсу ізоляції. В пристрої застосовуються перетворювачі температури, побудовані на базі аналогу лямбда-діоду.**

Ключові слова **– лямбда-діод, захист електродвигуна, діагностування, витрата ресурсу ізоляції, асиметрія напруги, час припустимої роботи, надійність.**

Постановка проблеми. Розвиток електромеханічних систем приводить до ускладнення структури, через що підвищуються вимоги щодо оцінки їх поточного технічного стану і експлуатаційної надійності.

Складно оцінювати поточний технічний стан силового електрообладнання та забезпечувати раннє запобігання можливим аварійним ситуаціям унаслідок прихованих дефектів або

© Курашкін С. Ф., Попова І. О.

непрогнозованого експлуатаційного впливу. Тому, в основі сучасних засобів безперервного технічного діагностування і захисту силового електроустаткування застосовують методи, засновані на використанні математичних моделей. Моделювання, звичайно, не може врахувати всі можливі чинники, що ведуть до розвитку пошкоджень електрообладнання, але в значній мірі близько описує фізичні процеси, що відбуваються в ньому. Це позначається на поліпшенні техніко-економічних показників функціонування електромеханічних систем в цілому.

Зі всього парку асинхронних електродвигунів, що знаходяться в експлуатації, більше 60% виробило свій ресурс [1]. У зв'язку з цим, необхідно більш ретельно контролювати експлуатаційні режими роботи силового електрообладнання та його поточний технічний стан, а також застосовувати нові технічні засоби діагностування і захисту. Це дозволить продовжити ресурс роботи електроустаткування з врахуванням індивідуальних особливостей динаміки старіння ізоляційних властивостей матеріалів, які застосовуються в його конструкції.

Все вказує на необхідність розробки діагностичних моделей, методів і пристроїв для оцінки можливості роботи силового електрообладнання на підставі поточного технічного стану і експлуатаційного впливу.

Аналіз останніх досліджень. Більша кількість існуючих пристроїв захисту асинхронних електродвигунів від анормальних режимів, як правило, передбачає індивідуальний захист. Отже, у разі застосування подібних пристроїв для захисту групи електродвигунів, що входять до складу технологічної лінії, або іншої електромеханічної системи підвищуються капіталовкладення на організацію поточного технічного діагностування. Для їх зменшення замовник вимушений застосовувати більш дешеві пристрої захисту, обмежені за функціоналом, або обходитися традиційними методами із застосуванням автоматичних вимикачів і теплових реле.

Раніше було встановлено [2], що швидкість теплового зносу ізоляції ε електродвигуна залежить від механічної характеристики робочої машини, коефіцієнту несиметрії напруги за зворотною послідовністю $k_{U2\%}$ та коефіцієнту завантаження робочої машини $k_З$.

Під час несиметрії напруги живлення зменшується обертаючий момент електродвигуна, в наслідок чого зростають фазні струми, підвищується нагрів обмотки статора і тепловий знос ізоляції.

Під час застосування індивідуальних пристроїв захисту не враховується залежність його параметрів від несиметрії напруги, завантаження робочої машини, особливості її механічної характеристики тощо. Критерієм оцінювання режиму роботи, як правило, є сила струму, іноді температура обмотки статора.

Результатом роботи існуючих пристроїв захисту є відключення електродвигуна під час виконання технологічного процесу, що веде до збільшення експлуатаційних витрат. Не використовується такий об'єктивний показник, як припустимі витрати ресурсу ізоляції обмотки електродвигуна, тому при розробці нових пристроїв діагностування і захисту доцільно припиняти роботу електроприводу у разі глибокої несиметрії напруги, контролюючи припустимі витрати ресурсу ізоляції.

Формулювання цілей статті – розробка пристрою захисту групи асинхронних електродвигунів з контролем несиметрії напруги живлення за напругою зворотної послідовності з урахуванням впливу перевищення температури статорних обмоток. Критерієм діагностування експлуатаційного режиму роботи електромеханічної системи є припустимі витрати ресурсу ізоляції електродвигунів.

Основна частина. З огляду на важність оцінювання експлуатаційного режиму роботи і впливу на швидкість теплового зносу ізоляції електродвигунів несиметрії напруги живлення з урахуванням перевищення температури їх обмоток, можна висунути вимоги до пристрою захисту групи асинхронних електродвигунів:

– контроль напруги зворотної послідовності мережі живлення технологічної лінії;

– контроль перевищення температури обмоток кожного двигуна;

– світлова сигналізація про досягнення несиметрії напруги граничного припустимого значення;

– відключення технологічної лінії при досягненні перевищення температури обмотки електродвигуна у межах припустимого значення;

– світлова індикація режимів роботи контрольованих асинхронних двигунів.

Згідно з цими вимогами складена структурна схема пристрою захисту, яка наводиться на рис. 1. Пристрій передбачає захист групи з п'яти асинхронних електродвигунів, але їх кількість може бути як зменшена, так і збільшена.

Основою пристрою є мікроконтролер МК, до якого поступає інформація з одного боку від фільтру напруги зворотної послідовності ФЗНП, а з іншого – через фільтр Ф від первинних перетворювачів температури, виконаних на базі аналогу лямбда-діоду АЛД1-АЛД2 і перетворювачів температури ПТ1-ПТ5. Сигнал мікроконтролера подається до блоку керування та сигналізації БКС.

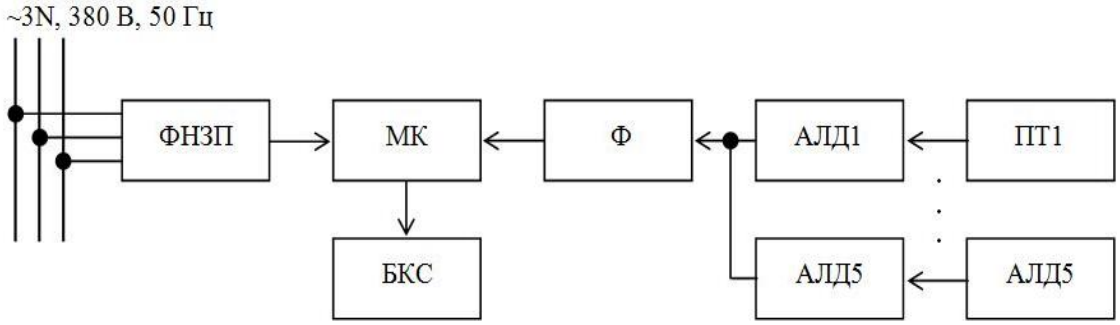

Рис. 1. Структурна схема пристрою захисту.

За структурною схемою складена принципова електрична схема пристрою захисту групи електродвигунів – вона наведена на рис. 2.

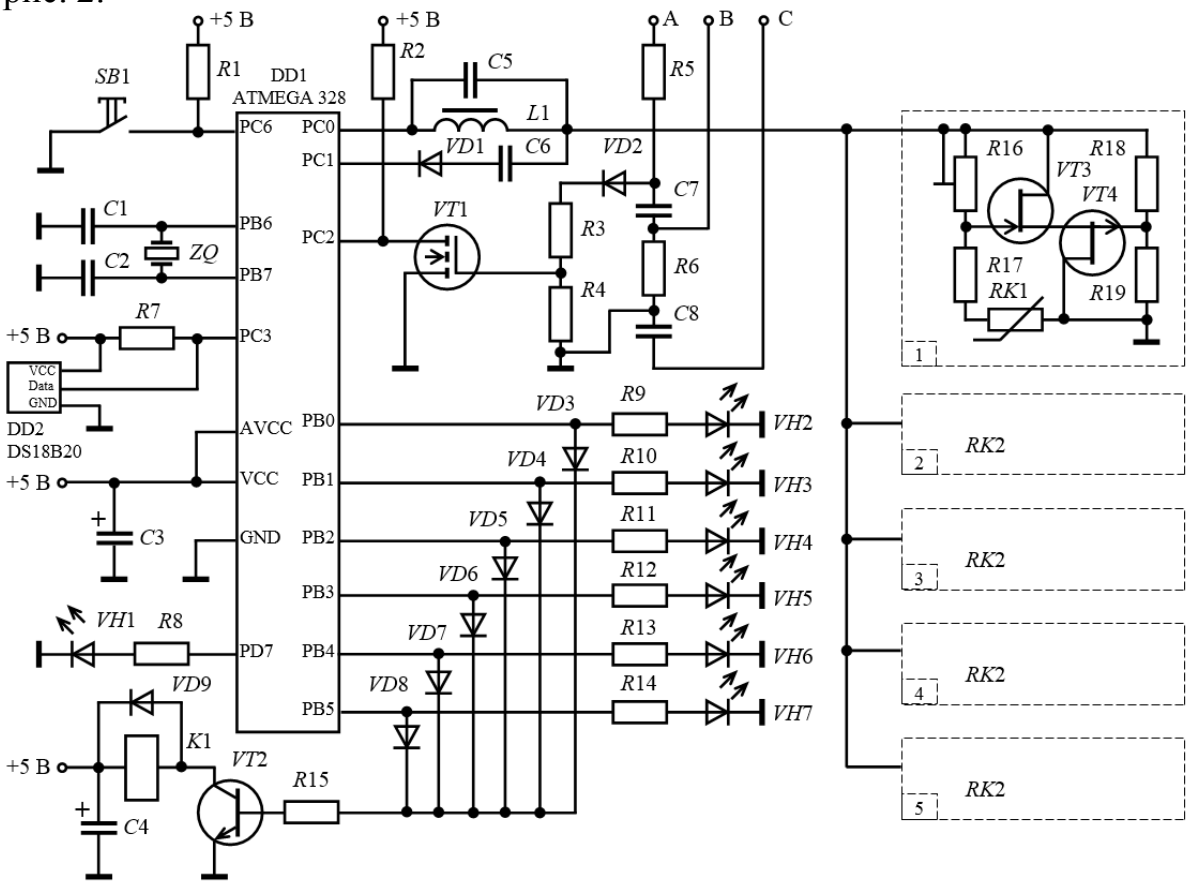

Рис. 2. Принципова схема пристрою захисту.

Основою пристрою захисту є мікроконтролер ATMEGA328P-PU *DD*1 [3], до аналогового порту ADC0 (PC0) якого через резонансний фільтр-пробку *L*1-*C*5 підключені перетворювачі температури, виконані на аналогі лямбда-діоду (АЛД).

АЛД складається з пари польових транзисторів *VT*3, *VT*4 і резистивного містка, до одного плеча якого включений позистор *RK*1, вбудований в лобову частину обмотки статора електродвигуна.

Застосування нелінійного резистора *RK*1 дає змогу впливу температури обмотки на ширину вольт-амперної характеристики (ВАХ) АЛД (рис. 3). Зі зміною ширини ВАХ відбувається зміна напруги відсічки, при якій транзистори закриваються і АЛД не проводить струм.

При температурі обмотки 21°С напруга запирання АЛД дорівнює 6 В, а при збільшенні температури до 100°С напруга підвищується до 22 В [4].

Застосування позисторів на відміну від термісторів дає меншу похибку, оскільки їх температурний коефіцієнт опору α = 15-50%/°С, в той час як у термісторів α = 4-8%/°С. Це дає можливість контролю одночасно декількох об'єктів, що і застосовано у пропонованому пристрої захисту групи електродвигунів.

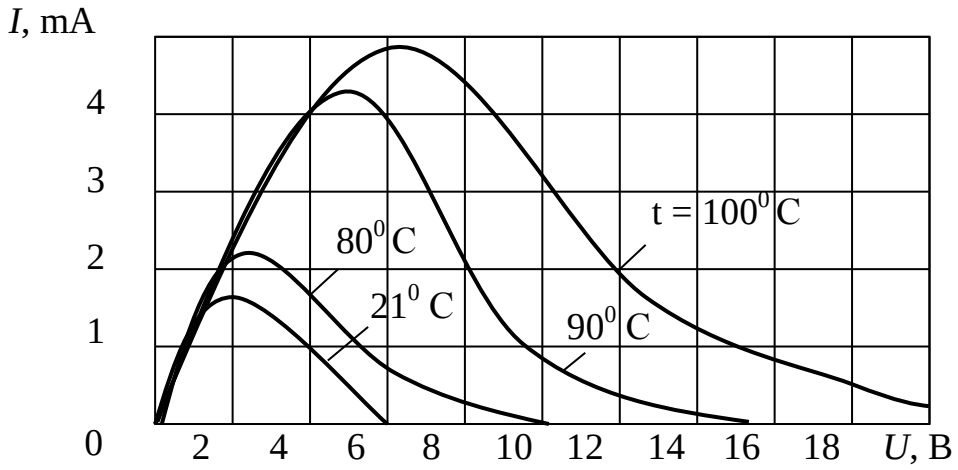

Рис. 3. Вольт-амперна характеристика аналогу лямбда-діоду.

Напруга заданої частоти на аналоговому порту PC0 має ступінчасту форму. Кожний рівень цієї напруги відповідає своєму перетворювачу температури. При досягненні температурою обмотки статора, наприклад, першого електродвигуна припустимого значення, ВАХ перетворювача температури зміщується вправо і напруга відсічки, що дорівнює пороговому значенню $U_{П1}$, викликає в контурі *L*1-*C*5 гармонічні синусоїдні коливання. Ця змінна напруга через конденсатор C6 і діод VD1 поступає до аналогового входу ADC2 (PC1).

З цього моменту мікроконтролер обчислює час припустимої роботи електродвигуна за умови припустимої витрати ресурсу ізоляції електродвигуна [5]

$$t_{пр} = T \ln \frac{\tau_y}{\tau_y - \tau_{пр}}, \qquad (1)$$

де T – стала часу нагріву електродвигуна, с;

τ_y – усталене перевищення температури електродвигуна, ºС;

$\tau_{пр}$ – припустиме значення перевищення температури, $°C$.

В залежності від номера електродвигуна, перевищення температури якого досягло припустимого значення, з'являється напруга на виходах PB0-PB4 мікроконтролера *DD*1 і один з світлодіодів *VH*2-*VH*6, відповідний номеру двигуна сигналізує про цю ситуацію. Одночасно з цим, відчиниться транзистор *VT*2 і котушка реле *K*1 отримає живлення, її контакт відключить живлення групи електродвигунів.

Контроль повнофазного режиму здійснюється за допомогою фільтру ФЗНП, який виконаний на елементах *R*5-*C*7-*R*6-*C*8. При обриві однієї з фаз на виході ФЗНП з'являється напруга 225 В, яка падає на резистивному дільнику R3-R4 і відчиняє польовий транзистор VT1. При цьому напруга на вході ADC3 (PC3) приймає низький рівень, що сприймається мікроконтролером як неповнофазний режим роботи навантаження, про що сигналізує світлодіод *VH*7. Разом з цим аналогічно випадку з перевищенням температури спрацьовує реле К1.

Для обчислення перевищення температури в пристрої захисту передбачено датчик температури *DD*2 типу DS18B20 [6], данні з якого передаються за протоколом 1-Wire до входу ADC3 (PC3). Він вимірює температуру навколишнього середовища.

Контроль роботи пристрою здійснюється за допомогою світлодіода VH1. Скидання пристрою після спрацювання здійснюється за допомогою кнопки *SB*1.

Висновок. Розроблений пристрій захисту дозволяє підвищити експлуатаційну надійність групи електродвигунів за рахунок безперервного діагностування експлуатаційних режимів роботи. Це дозволить зменшити експлуатаційні витрати і підвищити термін їх служби.

Література:

1. *Ahyoev J., Manusov V.* Technical diagnostics of electric equipment with the use of fuzzy logic models // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 792: Energy Systems, Materials and Designing in Mechanical Engineering. P. 324–329.

2. *Попова І. О., Грищенко О. К.* Аналіз впливу асиметрії напруги на процес теплового ізносу ізоляції асинхронних електродвигунів // Труды Таврической государственной агротехнической академии. Мелитополь, 1998. Вып. 1, т. 8. С. 14-18.

3. ATmega328P. 8-bit AVR Microcontroller Programmable Flash. Atmel Corporation. / Rev.: 7810D–AVR–01/15. 2015. [Online]. Available:

http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf.

4. *Попова І. О., Курашкін С. Ф.* Визначення можливостей перетворювача на основі аналога лямбда-діода за допомогою вольт-амперних характеристик // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2018. Вип. 8, т. 2. URL: http://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/article/view/29 (дата звернення: 2.02.2019).

5. *Овчаров В. В.* Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве. Киев: УСХА, 1990. 168 с.

6. DS18B20. Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer Datasheet. Maxim Integrated Products, Inc. 2018. [Online]. Available: https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf

УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ ГРУППЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Курашкин С. Ф., Попова И. А.

***Аннотация* – эксплуатация асинхронных электродвигателей в составе электромеханической системы предусматривает поддержание их надежности на уровне, который обеспечит их долговременную работу не менее нормируемого предприятием-изготовителем гарантированного срока службы. Наиболее уязвимым элементом конструкции электродвигателя является его обмотка вообще, и ее изоляция в частности. Для повышения эксплуатационной надежности электродвигателей разработчики проектируют новые устройства защиты, поскольку со временем элементная база электронных компонентов обновляется, что дает возможность применять новые методы решения задач, которые невозможно было осуществить раньше. В работе выдвинуты требования, которым должно удовлетворять устройство защиты группы электродвигателей, разработана его структурная и принципиальная схемы. Основой устройства является микроконтроллер, который рассчитывает время допустимой работы каждого электродвигателя, входящего в группу защиты, в случае его перегрузки, когда увеличение температуры обмотки превышает критический уровень. В устройстве применяются преобразователи температуры, построенные на базе аналога лямбда-диода.**

DEVICE TO PROTECT A GROUP OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS

S. Kurashkin, I. Popova

Summary

Operation of asynchronous electric motors in the composition of the electromechanical system provides for maintaining their reliability at a level that will ensure their long-term operation of the guaranteed service life not less stated by the manufacturer. However, during operation, asynchronous electric motors are influenced by various operational factors or their combinations, not taken into account by the manufacturer, which may lead to their premature failure. The most vulnerable structural element of an electric motor is its winding in general and its insulation in particular. If we take the insulation service life, guaranteed by the manufacturer as the base, then it can be worked out much faster. A number of factors affect the rate of insulation deterioration, but somehow their main part leads to an increase in winding temperature and deterioration of its insulating properties. To improve the operational reliability of electric motors, the developers are designing new protection devices, since over time the element base of electronic components is updated, which makes it possible to apply new methods for solving problems that could not be done before. For example, the appearance of programmable microprocessors made it possible to embody the results of modeling physical processes that occur in an electric motor, in the form of mathematical models by which the microprocessor calculates them and, in accordance with the result, decides whether or not an electric drive can work. The work put forward the requirements that must be met by the protection device of a group of electric motors and its structural and schematic diagrams are developed. The basis of the device is a microcontroller, which calculates the permissible operation time of each electric motor included in the protection group in case of overload, when the winding temperature exceeds the critical level. The disconnection of electric motors group does not occur immediately, but after a time delay calculated by the microcontroller, provided that the isolation resource is allowed to flow. The device uses temperature transducers based on the lambda diode analogue.