



УДК 621.316.929

І. О. Попова, к.т.н.

ORCID: 0000-0001-5429-8269

С. Ф. Курашкін, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-3361-9489

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,

e-mail: iryana.popova@tsatu.edu.ua, тел: 0983765519

МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ ПРИСТРІЙ МОНІТОРІНГУ ТА ЗАХИСТУ ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Анотація. На основі аналізу наслідків роботи асинхронного двигуна при несиметрії напруги мережі, а саме – різкого погіршення техніко-економічних характеристик; збільшення струмів в обмотках статора, що призводить до збільшення втрат електричної енергії; підвищення нагріву їх складових частин; зниження експлуатаційної надійності і скорочення терміну служби, та для підвищення експлуатаційної надійності асинхронних двигунів, які експлуатуються у сільському виробництві при несиметрії фазних напруг мережі, прийнято рішення про удосконалення засобів діагностування. В статті надані структурна і принципова схеми мікропроцесорого пристрою моніторингу і захисту трифазного асинхронного двигуна з мікроконтролерним датчиком температури. Мікропроцесорний пристрій дозволяє здійснювати: контроль відхилення фазної напруги, перекосу фаз; контроль лінійної напруги, контроль температури статорної обмотки; світлову сигналізацію виникаючих аварійних ситуацій – відхилення напруги відносно номінального значення, обрив фази живлення або перевищення температури обмотки; затримку в роботі пристрою під час пуску асинхронного двигуна або групи асинхронних двигунів для унеможливлення хибних відключень.

Ключові слова: пристрій захисту, моніторинг, трифазний асинхронний двигун, датчик температури, структурна схема, принципова схема.

Постановка проблеми. На сільськогосподарських підприємствах найбільше застосування мають асинхронні трифазні електродвигуни з короткозамкненим ротором (АД), як надійні, прості і дешеві, з цієї причини далі піде мова тільки про такі двигуни.

В сільськогосподарському виробництві використовують АД різних потужностей, але переважають електродвигуни потужністю



0,55-15,0 кВт, причому в цій групі найбільша кількість АД потужністю 1,5-5,5 кВт, а це більше 60% від усіх АД, що використовуються, з них найбільша доля потужністю 1,0-3,0 кВт [1]. В свою чергу електродвигуни потужністю до 22,0 кВт складають 96% задіяних у АПК для виготовлення комбікормів, у зернопереробних комплексах, вентиляції, водопостачанні, зрошенні, пневмотранспорті тощо.

Не зважаючи на це, щорічно в сільському господарстві виходить з ладу 20-25% АД від наявного парку [2], хоча, як правило, АД забезпечені пускахозахисною апаратурою. Основна причина виходу їх з ладу – аварійні режими, серед яких перевантаження, обрив фазного проводу і несиметрія напруги мережі (до 45%), заклинювання і руйнування підшипникового вузла та інші. Зі сказаного слідує, що виникнення несиметрії фазних напруг і обрив фазного проводу та перегрів обмотки статора є однією з основних причин виходу з ладу асинхронних двигунів [2].

Аналіз останніх досліджень. Несиметрія напруги проявляється в різкому погіршенні техніко-економічних характеристик електродвигунів, збільшенні струмів в обмотках статора, що приводить до збільшення втрат електричної енергії в АД, підвищення нагріву їх складових частин, зниженні експлуатаційної надійності і скороченні терміну служби електродвигунів.

Для підвищення експлуатаційної надійності АД, які експлуатуються у сільському виробництві при несиметрії фазних напруг мережі, необхідно удосконалювати засоби діагностування. Це дозволить експлуатаційному персоналу мати точні дані про режим роботи електроустаткування, стан робочих частин, безпомилково визначати час його відключення від джерела живлення, зменшити знос ізоляції, число відмов і аварійних виходів з ладу асинхронних двигунів [2]. Існують способи одночасного отримання можливо повної інформації про наявність дефектів на відключеному (статичні випробування) і працюючому (динамічні випробування) двигуні. Кореляція статичних і динамічних даних випробувань дає можливість оцінити реальний технічний стан двигуна і дати надійний прогноз його працездатності.

Серед систем подібного призначення, в яких реалізовані ці можливості, можна назвати обладнання MCETM (аналізатор кіл двигуна) і DMA (система динамічного аналізу двигунів), що виробляються корпорацією PdMA (США). В системі передбачено використання програмного забезпечення MCEGold для аналізу даних вимірювань і бази даних, яке дозволяє отримувати тимчасові тренди даних вимірювань. Обидві системи і технологія орієнтовані на визначення найбільш пошкоджуваних елементів і вузлів електродвигунів, а також контроль якості напруги живлячої мережі або



приводів [3]. В наш час найбільш затребувані пристрої захисту як низьковольтних (до 1000 В), так і високовольтних (напругою 6/10 кВ) АД від аварійних режимів роботи (коротких замиканій; перевантажень за струмом; несиметрії навантаження по фазах; замикань на землю; перевищення або зниження живлячої напруги; невірне чергування фаз) з цифровим налаштуванням і індикацією контрольованих параметрів є реле захисту РДЦ-01-057-4 або РДЦ-01-057-5 [4].

Найбільш вразливою від аварійних несиметричних режимів в АД є обмотка статора та її ізоляція. Частіше за все обмотки АД виходять з ладу через несиметрію напруги мережі (перекіс і обрив фаз) та роботу технологічного обладнання з перевантаженням. В цих випадках значно підвищується сила струму в обмотках статора, збільшуються втрати активної потужності в них, збільшується перевищення температури обмотки по відношенню до температури навколишнього середовища. Таким чином, необхідно контролювати її температуру під час роботи [8]. В захисних пристроях, що розробляються, необхідно використовувати новітні електронні елементи конструкції: наприклад, контроль температури за допомогою аналога лямбда-діода або електронний датчик температури, що дозволяє більш точно вимірювати температури фази статора АД [9, 10] – це дозволить отримати компактний, надійний і багатофункціональний пристрій захисту.

Формулювання цілей статті. Розробити структурну і принципову схеми захисного пристрою трифазного АД, що передбачає його захист від обриву фази, відхилення і несиметрії фазних і лінійних напруг та перегріву обмоток статора.

Основна частина. Пристрій захисту АД повинен забезпечувати виконання наступних потреб:

- здійснення контролю напруги фаз А, В, С, а при відхиленні фазної напруги (перекосі фаз) в межах 190-250 В відключати його від електричної мережі;
- здійснення контролю лінійної напруги А-В, В-С, С-А, при відхиленні більш ніж на ± 30 В відключати його від електричної мережі;
- здійснення контролю температури статорної обмотки, при перевищенні гранично допустимого значення для класу ізоляції АД (наприклад, 115 °С) відключати його від електричної мережі;
- світлова сигналізація виникаючих аварійних ситуацій: відхилення напруги, обрив фази або перевищення температури обмотки статора граничнодопустимого для класу ізоляції АД.

Під час пуску електродвигуна або групи електродвигунів можливі провали або стрибки напруги в фазах, які обумовлені пусковими струмами, тому пристрій захисту по напрузі починає працювати через одну хвилину після включення двигуна.

Пристрій побудований на мікроконтролері (МК) PIC16F676 і мікроконтролерному датчику температури DS1820 [9, 10].

Згідно з алгоритмом роботи пристрою захисту розроблена структурна схема пристрою, яка наведена на рис. 1.

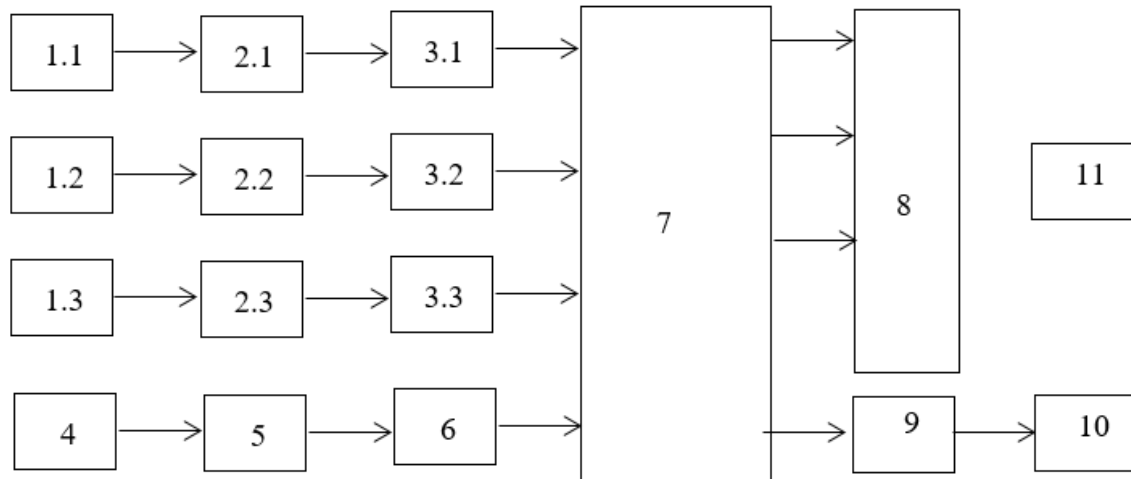


Рисунок 1. Структурна схема мікропроцесорного пристрою захисту

Структурна схема пристрою складається з наступних блоків: 1.1, 1.2, 1.3 – блок випрямлення напруги фаз А, В, С; 2.1, 2.2, 2.3 – блоки дільників напруги фаз А, В, С; 3.1, 3.2, 3.3 – згладжувальні фільтри; 4 – первинний перетворювач температури фаз; 5 – датчик температури; 6 – блок підлаштування; 7 – мікроконтролер; 8 – блок світлової індикації напруги і температури; 9 – гальванічна розв’язка кіл; 10 – виконавчий орган; 11 – блок живлення пристрою захисту.

Виникнення аварійних режимів в кожній фазі і перевищення температури статорних обмоток двигуна супроводжується включенням відповідних сигнальних світлодіодів. В пристрої для виміру і порівняння використовується випрямлена напруга фаз відносно нульового проводу. Принципова електрична схема пристрою наведена на рис. 2.

Для зниження вимірної на фазах напруги застосовуються дільники напруги R1-R3 і R10-R12 – вони мають коефіцієнт ділення 1:100. Змінна напруга на фазах випрямляється напівполуперіодним випрямлячем, що складається з діодів VD1...VD3 та стабілізується стабілітронами VD7-VD9. Випрямлена напруга згладжується конденсаторним фільтром C4-C6 і поступає до входів RA0-RA2 МК DD2. В лінії зв’язку термодатчика DD1 з входом RC4 МК встановлений резистор R13.

Частота тактування МК 4 МГц задається його внутрішнім генератором. Частоту тактового генератора, поділену на чотири



(1 МГц), можна спостерігати на виході RA4 (вихід 3 МК), контролюючи таким чином працездатність МК.

Вихід RA3 МК через оптодіод U1 і симістор VS1 включає пускове реле K1. Його контакти K1.1-K1.3 здійснюють подачу напруги на електродвигун або відключають його від мережі.

Світлодіоди HL1-HL4 сигналізують про виникнення аварійного режиму. Величини резисторів R6-R9 підбирають в залежності від вибраного типу світлодіодів і необхідної яскравості світіння. У схемі застосовуються світлодіоди типу КИПД21-ПК. Кнопка SB1 «Скидання» необхідна для перезавантаження МК і включення електродвигуна після усунення аварійного режиму.

Живлення схеми відбувається від безтрансформаторного джерела живлення за допомогою конденсатора C3, допустима робоча напруга якого повинна складати не менше 400 В. Стабілітрон VD4 має напругу стабілізації 5,1 В (тип 1N4733A). Така напруга є опорною для аналого-цифрового перетворювача (АЦП) МК. Якщо застосувати стабілітрон з меншою напругою стабілізації, наприклад, 4,7 В, то знадобиться пропорційна зміна коефіцієнту ділення вхідних дільників напруги.

Якщо необхідність у вимірі перевищення температури ізоляції обмотки відсутня, датчик температури DD1 типу DS1820 можна не встановлювати (тоді буде відсутній захист електродвигуна від перегріву ізоляції), але лінія зв'язку повинна залишатися навантаженою резистором R13.

Пристрій працює наступним чином. Після його включення відбувається ініціалізація регістрів МК і включається керуючий вихід. Для усунення похибки спрацювання під час пуску двигуна або групи двигунів пристрій захисту по напрузі має витримку одну хвилину, після чого відбувається контроль напруги живлення електродвигуна.

Далі циклічно відбувається вимір напруги фаз А, В, С. Після кожного виміру фаза живлення перевіряється на обрив. Якщо виміряна напруга дорівнює нулю, то МК формує команду про відключення навантаження. Потім слідує перевірка величини виміряної напруги у фазі на вихід за межі діапазону 190-250 В. Якщо це трапилось, то включається лічильник помилок МК, який затримує час вимикання двигуна приблизно на 1,8 с. Для кожного порівняння МК має свій лічильник, якщо наступне вимірювання напруги прийде до норми, то даний лічильник обнуляється.

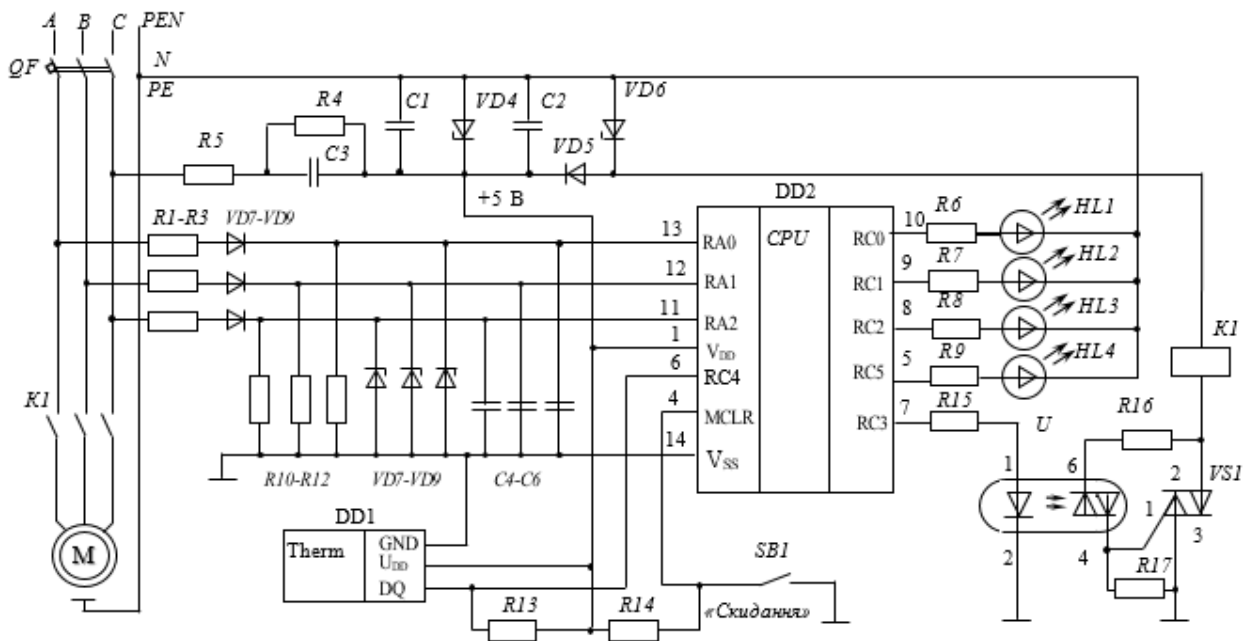


Рисунок 2. Принципова електрична схема пристрою захисту

Після порівняння лінійної напруги А-В, В-С, С-А, їх різниця перевіряється на перевищення заданого граничного значення 30 В. Якщо несиметрія між лінійними напругами перевищує це значення, то включається лічильник помилок. Вимикання АД відбувається аналогічно через 1,8 с.

Вимірювання температури починається з ініціалізації термодатчика і отримання команди дозволу. Якщо температура обмотки перевищує граничне перевищення температури ізоляції обмотки, то АД відключається.

Розроблений пристрій захисту рекомендується до встановлення в шафі керування АД. Сигнальна лінія зв'язку з термодатчиком повинна бути екранованою та її довжина не повинна перевищувати 5 м.

Налагодження пристрою починають з перевірки напруги живлення, яка повинна бути 5,1 В. Далі, підбором опорного резистора R1-R3, встановлюють напругу на входах 11-13 МК, яка повинна бути в 100 разів меншою за вхідну. При цьому на всі входи може бути подана напруга однієї фази. Після встановлення запрограмованого МК пристрій готовий до роботи.

Робота з пристроєм зводиться до аналізу стану світлодіодів при виникненні аварійних режимів. Якщо електродвигун відключився і при цьому жодний світлодіод не світиться – стався обрив фази живлення. Якщо горить один з світлодіодів АВ, АС, СА, то можливий вихід напруги за межі діапазону 190-250 В. При цьому перша літера позначення світлодіода вказує аварійну фазу. Під час несиметрії



напруги («перекіс фаз») надпис під світлодіодом, що світиться, відповідає тим фазам, різниця напруги яких більша за 30 В. Як правило, одночасно включається два світлодіода, наприклад, АВ і СА. В цьому разі напруга фази А має відхилення від напруги фаз В і С більш ніж на 30 В. Після усунення аварійної ситуації електродвигун вмикається натисканням кнопки «Скидання». Для програмування МК PIC16F676 можна скористатися програмою PonyProg2000 або подібною.

Висновок. Отже, застосування мікропроцесорного захисного пристрою дозволить зменшити експлуатаційні витрати, підвищити експлуатаційну надійність і збільшити строк роботи АД.

Список використаних джерел

1. Гурин В. В. Защита асинхронных трехфазных электродвигателей: учеб. пособие. Минск: БГАТУ, 2011. Ч. 2. 448 с.
2. Титко А. И., Осадчий Е. П., Шаломыгин М. В. Программно-технический комплекс диагностики изоляции обмоток асинхронных двигателей. *Новини енергетики*. 1998. № 8. С. 38-42.
3. Крупенин Н. В., Голубев А. В., Завидей В. И. Новые возможности в диагностике электрических машин. *Электричество*. 2011. № 9. С. 45-48.
4. Микропроцессорные реле защиты для электродвигателей 6/10 кВ РДЦ-01-057-4, РДЦ-01-057-5. URL: <https://reلسis.ua/produksiya/zashchita-dvigatlej/rdts-01-057-4-5> (дата звернення: 17.08.2021).
5. Wolkiewicz M., Skowron M. Diagnostic system for induction motor stator winding faults based on axial flux. *Power electronics and drives*. 2017. Vol. 2 (37), № 2. P. 137-150. DOI: 10.5277/PED170204.
6. Zagirnyak M., Mamchur D., Kalinov A. Comparison of induction motor diagnostic methods based on spectra analysis of current and instantaneous power signals. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2012. № 12b. P. 221-224.
7. Bouchikhi E. H., Choqueuse V., Benbouzid M. Induction machine diagnosis using stator current advanced signal processing. *International Journal on Energy Conversion*. 2015. Vol. 3, № 3. P. 76–87.
8. Попова І. О., Курашкін С. Ф., Нестерчук Д. М. Захист асинхронного двигуна від несиметричних режимів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Технічні науки*. Харків, 2018. Вип. 195: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 114–115.
9. Курашкін С. Ф., Попова І. О. Пристрій захисту трифазних асинхронних електродвигунів. *Праці Таврійського державного*



агротехнологічного університету. Мелітополь, 2020. Вип. 20, т. 4. С. 126-135. DOI: 10.31388/2078-0877-2020-20-4-126-135.

10. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Москва: Мир, 2009. 704 с.

Стаття надійшла до редакції 2.12.2021 р.

I. Popova, S. Kurashkin
Dmytro Motorni Tavria State Agrotechnological University

MICROPROCESSOR DEVICE FOR MONITORING AND PROTECTION OF THREE-PHASE INDUCTION MOTOR

Summary

The main reason for the failure of induction motors with short-circuited rotor – emergency modes, such as overload, phase wire breakage and voltage asymmetry, jamming and destruction of the bearing assembly etc. The occurrence of phase voltages asymmetry and phase wire breakage and overheating of stator winding is one of the main causes of failure of induction motors. Voltage asymmetry is manifested in a sharp deterioration of the technical and economic characteristics of electric motors, increased currents in the stator windings, which leads to increased losses of electrical energy in the induction motors increased heating of their components, reduced operational reliability and reduced motor life. To increase the operational reliability of induction motors, which are operated in agricultural production with asymmetry of phase voltages of the network, it is necessary to improve the means of diagnosis.

Structural and schematic diagrams of a microprocessor protection device for a three-phase induction motor with a microcontroller temperature sensor have been developed. The microprocessor device allows to carry out: control of deviation of phase voltage, skew of phases; line voltage control, stator winding temperature control; light signaling of emerging emergencies: voltage deviation, phase break or excess winding temperature; delay in operation of the device during start of the engine or group of engines for prevention of false shutdowns.

Key words: protection device, monitoring, three-phase induction motor, temperature sensor, structural diagram, schematic diagram.

И.А. Попова, С.Ф. Курашкин
Таврический государственный агротехнологический университет
имени Дмитрия Моторного

МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВО МОНИТОРИНГА И ЗАЩИТЫ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Аннотация

В статье на основе анализа последствий работы асинхронного двигателя при несимметрии напряжения сети: резкого ухудшения технико-экономических характеристик; увеличения токов в обмотках статора, что приводит к увеличению потерь электрической энергии в асинхронных двигателях; повышению нагрева их составных частей; снижения эксплуатационной надежности и сокращения срока службы электродвигателей и для повышения эксплуатационной надежности



асинхронных двигателей, эксплуатируемых в сельском производстве при несимметрии фазных напряжений сети, принято решение о совершенствовании средства диагностирования. Статье представлены разработанные структурная и принципиальная схемы микропроцессорного устройства защиты трехфазного асинхронного двигателя с микроконтроллерным датчиком температуры. Микропроцессорное устройство позволяет осуществлять: контроль отклонения фазного напряжения, перекосе фаз; контроль линейного напряжения, контроль температуры статорной обмотки; световую сигнализацию возникающих аварийных ситуаций: отклонение напряжения, обрыв фазы или превышение температуры обмотки; задержку в работе устройства при пуске асинхронного двигателя или группы асинхронных двигателей для предотвращения ложных отключений.

Ключевые слова: устройство защиты, мониторинг, трехфазный асинхронный двигатель, датчик температуры, структурная схема, принципиальная схема.