

УДК 631.537

ЗАХИСТ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ВІД АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ

Нестерчук Д. М., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-32-63

Анотація – робота присвячена аналізу видів захисту асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи, а також запропонована структурна схема мікропроцесорного пристрою діагностування та захисту групи асинхронних електродвигунів.

Ключові слова – асинхронний електродвигун, захист, аварійні режими роботи, мікропроцесорний пристрій діагностування та захисту.

Постановка проблеми. Переважна більшість існуючих пристроїв захисту асинхронних електродвигунів (АД) відрізняються один від одного за своїми функціональними можливостями і мають загальні недоліки: низьку точність встановлення струмів, спрацьовування за максимально допустимого струму, відсутність контролю напруги [1].

Перетворення електричної енергії в механічну за допомогою трифазних АД дозволяє легко й економічно вигідно здійснювати електропривод робочих машин технологічних ліній. Завдяки простоті конструкції, високій надійності і невисокої вартості трифазний асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором є найбільш поширеним електродвигуном для приводу робочих машин та механізмів. Понад 85% всіх електричних машин – це трифазні асинхронні електродвигуни. АД розрахований на термін служби до 15-20 років без капітального ремонту, за умови його відповідної експлуатації. Однак у реальному виробництві має місце значне відхилення від номінальних режимів експлуатації [1, 2]. Слід відзначити, в першу чергу, незадовільну якість напруги живлення й порушення правил технічної експлуатації: технологічні перевантаження, умови навколишнього середовища, а саме, підвищена вологість та температура, зниження опору ізоляції, порушення умов охолодження.

Наслідком таких відхилень є аварійні режими роботи АД, які призводять до підвищеного енергоспоживання з мережі, збільшення споживаної реактивної потужності [2–4]. Цілком очевидно, що впровадження надійного й ефективного захисту від аварійних режимів роботи значно скоротить кількість та частоту аварійних ситуацій і про-

довжить термін служби АД, скоротить витрати електроенергії та експлуатаційні витрати. Але для того, щоб застосовувати захист від аварійних режимів роботи, необхідно вміти обґрунтовувати, як і від чого необхідно захищати АД, а також специфіку процесів, які протікають у ньому у разі аварій.

Аналіз останніх досліджень. Надійність АД визначається надійністю їх обмоток, яка залежить від стану ізоляції. В процесі тривалої експлуатації асинхронні електродвигуни підпадають під різноманітні експлуатаційні впливи [4], характеристика яких наведена в табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристика експлуатаційних впливів

Експлуатаційний вплив	Характеристика
Температура навколишнього середовища	Це чинник, який впливає на електричні машини, які працюють при широких діапазонах коливання як добових, так й сезонних температур.
Перевантаження електродвигунів	Це чинник, який є наслідком недосконалості конструкції робочих машин і механізмів. Перекося, знос частин, що труться, погіршення мастила ускладнюють рухливість робочих органів, збільшується їх тертя, як наслідок, виникають перевантаження електродвигунів, їх затяжні пуски та перекидання. Тому, не дивлячись на неповну завантаженість електродвигунів, значна частина їх виходить з ладу унаслідок перевантажень.
Дія надструму	Надструм є особливо небезпечним експлуатаційним чинником для ізоляції обмоток електродвигуна, довгі пуски якого, перекидання, яке виникає при зниженні напруги, неповно фазні режими, заклинювання робочих машин – все це призводить до виникнення надструмів.
Теплове перевантаження електродвигунів	Воно виникає в наслідок неповно фазних режимів, причини виникнення яких – це перегорання запобіжника на трансформаторній підстанції, обрив проводу лінії електропередачі, пошкодження контакту пускової апаратури, пошкодження контакту в коробці вводу електродвигуна, пошкодження жили кабелю, погіршення умов охолодження із – за засмічення поверхні електродвигуна продуктами переробки продукції.

Продовження таблиці 1

Експлуатаційний вплив	Характеристика
Комутаційні перенапруги	Такі перенапруги здатні досягати десятикратної величини по відношенню до номінальної, а це є безпосередньою причиною міжвиткових замикань. Комутаційні перенапруги, по суті, є істотно випадковими явищами, їх вірогідна величина залежить від числа комутаційних операцій, яке, у свою чергу, пропорційно часу роботи електричної машини.
Вібрація	Це руйнівний фактор для ізоляційної конструкції електродвигуна, який призводить до руйнування виткової ізоляції в точках доторкання сусідніх провідників.
Вологість навколишнього середовища	Вплив такого чинника призводить до зниження опору ізоляції та її електричної міцності та створюються передумови для появи струмів витоків.

Аналіз літературних джерел [1, 2, 4] показав, що аварії АД поділяються на два основних типи: механічні та електричні.

Причиною механічних аварій є радіальні вібрації через асиметрію мережі живлення, механічні перевантаження на валу електродвигуна, брак комплектуючих елементів або брак, що допущений при виробничому складанні електродвигуна. До 10% усіх аварій АД мають механічне походження. При цьому 8% цих аварій припадає на частку аварій, які пов'язані з асиметрією фаз і лише 2% на аварії, які пов'язані з механічним перевантаженням. Частка аварій, які пов'язані з браком, мала, і тому вона не враховується. Оцінка ймовірностей виникнення механічних аварій відсутня, більша їх частина носить прихований характер і виявляється тільки після відповідних випробувань або розбирання електродвигуна, однак постійний контроль напруги мережі живлення та навантаження на валу АД дозволяє, в більшості випадків, звести цю ймовірність до мінімуму.

Електричні аварії АД поділяються на три типи:

- мережеві аварії, які пов'язані з аваріями в мережі живлення;
- струмові аварії, які пов'язані з обривом провідників в обмотках статора, ротора або кабелю, через міжвиткові і міжфазні замикання обмоток, через порушення контактів і руйнування з'єднань, виконаних пайкою або зварюванням, а також аварії, що призводять до пробоя ізоляції в результаті нагрівання, викликаного протіканням струмів перевантаження або короткого замикання;

- аварії, які пов'язані зі зниженням опору ізоляції, внаслідок її старіння, руйнування або зволоження.

Аналіз показників якості електричної енергії щодо умов роботи АД показує, що при зменшенні напруги в мережі зростає струм статора, що призводить до інтенсивного нагріву ізоляції АД і скорочення терміну служби внаслідок прискореного старіння ізоляції та її пробою, а підвищення напруги призводить до збільшення магнітного потоку статора, струму намагнічування, нагрівання осердя (аж до «пожежі» у сталі), до збільшення реактивної потужності, що споживається з мережі, та, що знижує коефіцієнт потужності. В табл. 2 наведено узагальнені дані щодо впливу основних показників якості електричної енергії на режими роботи АД [2].

Таблиця 2 – Узагальнені дані щодо впливу основних показників якості електричної енергії на режими роботи АД

Вид показників якості	Допустимі норми	Характер зміни показника, зміни в роботі АД	
Відхилення напруги	$\pm 10\%$	зниження на 10% від номінального значення	підвищення на 10% від номінального значення
		момент змінюється пропорційно квадрату напруги	
		Момент знижується на 10%, температура підвищується на 7 °С, збільшується час пуску, ковзання збільшується на 27%	Збільшений момент – причина перевантаження, пусковий струм збільшується на 12%, момент обертання збільшується на 21%, коефіцієнт потужності знижується на 5%
Несиметрія напруги в трьохфазній системі (перекіс фаз)	Коефіцієнти зворотної та нульової послідовностей дорівнюють 4%	Недопустимий перекіс напруги викликає ті ж процеси, що й при його відхиленні. Це призводить до виникнення зворотних обертальних магнітних полів. Кругове магнітне поле стає еліптичним, виникає вібрація та руйнування підшипників, обмоток, струмовий перекіс та нагрівання. Строк служби зменшується на 10-15%. При перекосі до 50% строк служби знижується в 5-10 разів.	
Несинусоїдальність напруги	12%	Режим впливає на стан ізоляції обмоток, що призводить до пробою на корпус. Збільшуються сумарні втрати електричної енергії, знижується коефіцієнт потужності.	

Згідно даних літературних джерел [2, 4, 5, 6] напруга на затискачах АД і фазні струми, що протікають по його обмотках, тісно взаємопов'язані, і будь-які, навіть невеликі, зміни напруги мережі живлення викликають значні зміни фазних струмів.

Для ефективного захисту АД необхідно вимірювати фазні струми якомога точніше. Згідно з останніми дослідженнями, тривала робота електродвигуна з струмовим перевантаженням всього лише на 5% від номінального скорочує термін його служби в 10 разів. [2].

Тому то постійний контроль фазних струмів дозволяє приймати достатньо достовірні висновки щодо наявності аварійних режимів роботи та оперативно захищати електродвигун.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Завданням статті є узагальнений аналіз видів захисту АД від аварійних режимів роботи та обґрунтування структурних блоків мікропроцесорного пристрою діагностування та захисту групи асинхронних електродвигунів.

Основна частина. Для захисту електродвигунів від аварійних режимів застосовується різні види релейного захисту: тепловий, струмовий, температурний, фільтровий та комбінований.

Багаторічний досвід експлуатації АД показав, що більшість захисних пристроїв не забезпечують безаварійну роботу АД. Вони не вирішують завдання захисту АД від перевантажень, ушкодження силового кабелю, перекосу фазних струмів, пов'язаних зі внутрішніми аваріями електродвигуна або з погіршенням опору ізоляції обмоток [2, 4].

Отже, правильний вибір захисного пристрою – це важливий фактор у забезпеченні безпечної експлуатації АД. Прилади захисту АД від аварійних режимів поділяються на декілька видів:

- теплові захисні пристрої: теплові реле, теплові розчіплювачі автоматичних вимикачів;
- струмозалежні захисні пристрої: плавкі запобіжники, автоматичні вимикачі;
- термочутливі захисні пристрої: термістори;
- реле напруги і контролю фаз, монітори мережі;
- прилади максимального струмового захисту, електронні струмові реле;
- комбіновані пристрої захисту [2].

Сучасне виробництво висуває все більш високі вимоги до безпечної експлуатації асинхронних електродвигунів. Високі показники надійності та довговічності АД можливі тільки за умови їх експлуатації при номінальних або близьких до них режимах, що можна забезпечити тільки встановленням належного захисту.

Всі з перерахованих захисних пристроїв забезпечують швидкий захист, визначають характер і ступінь пошкодження електродвигуна, а також виконується локалізація аварійної ділянки шляхом відключення його від схеми електропостачання. Але, разом з тим, кожний вид захисту має і цілий ряд істотних недоліків, які впливають на якість їх роботи: одні відрізняються невиправданою вибірковістю, в інших відсутня відбудова від процесу пуску, треті не реагують на струми короткого замикання або на перевантаження.

Для того, щоб вірно обирати захисний пристрій, необхідно знати, як і від якого аварійного режиму захищає конкретний захисний пристрій, його принцип дії та конструктивні особливості.

Одне з найважливіших вимог до пристроїв захисту електродвигунів – це чітка дія пристрою при аварійних і ненормальних режимах роботи АД і разом з тим неприпустимість помилкових спрацьовувань.

Аналіз усього вищенаведеного дозволив зробити висновок, що розробка універсальних пристроїв захисту АД від аварійних режимів роботи є актуальною задачею, а також це дало змогу розробити мікропроцесорний пристрій діагностування та захисту групи асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи.

Призначення запропонованого пристрою – це безперервний контроль температури обмотки статора, контроль фазних струмів, що живлять електродвигуни та захист від неповно фазного режиму роботи, з автоматичним відключення електродвигуна з групи електродвигунів при аномальних режимах роботи.

Пристрій відповідає таким технічним умовам: забезпечення захисту статорної обмотки електродвигуна, який працює з електромагнітним пускачем, з групи електродвигунів; цифрова індикація номеру несправного електродвигуна при виникненні аварійних режимів електродвигуна з групи електродвигунів; забезпечення захисту електродвигуна при обриві фази трьох фазної мережі живлення змінного струму та при перегріванні, а також при тривалих технологічних перевантаженнях; забезпечення захисту електродвигуна при невірних процесах пуску та гальмуваннях та при заклинюваннях ротора; забезпечення виконання алгоритму функціонування пристрою з обробкою вхідних параметрів для отримання результатів вимірювань на диспетчерському пульті; блочне конструктивне виконання пристрою з цифровою індикацією результатів вимірювань та можливість роботи в спряженні ПЕОМ.

Схема електрична структурна розробленого мікропроцесорного пристрою наведена на рис. 1.

Розроблений пристрій складається з блоку контролю кожного електродвигуна в групі електродвигунів A1.1 – A1.i та з блоку діагностування та захисту групи електродвигунів A1.

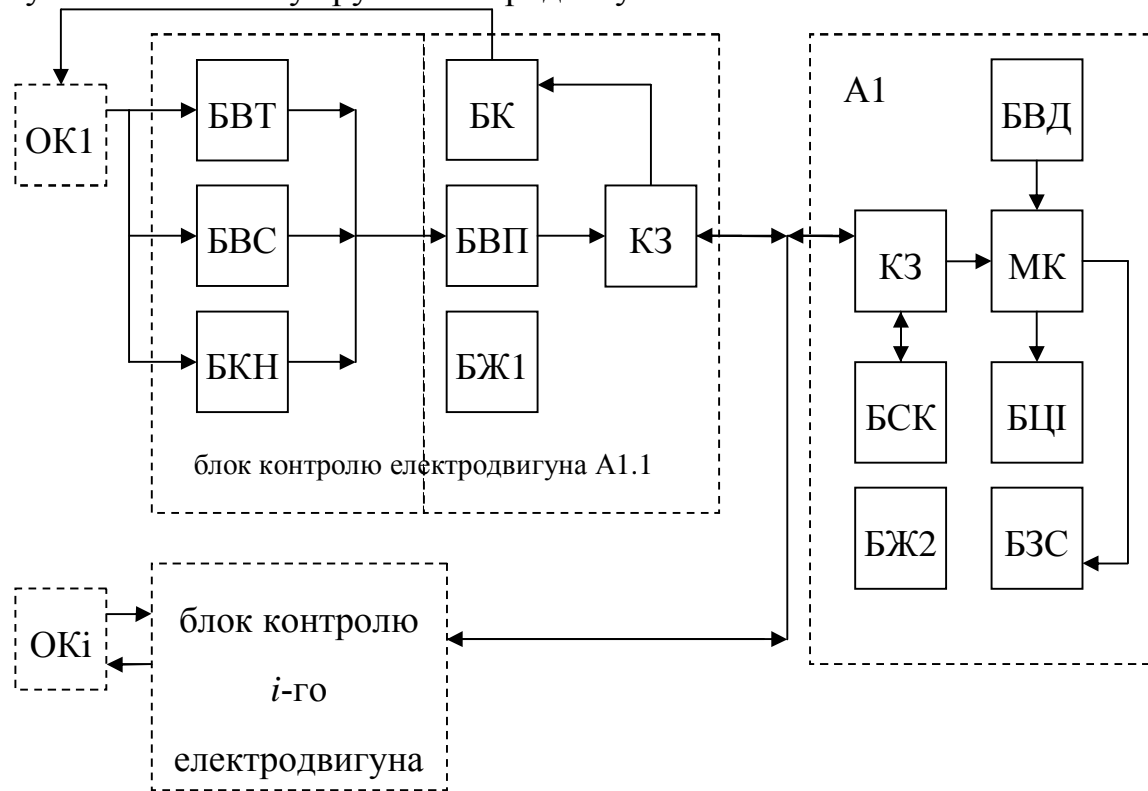


Рис. 1. Структурна електрична схема мікропроцесорного пристрою діагностування та захисту групи електродвигунів: A1.1 – A1.i – блоки контролю кожного електродвигуна в групі електродвигунів; A1 – блок діагностування та захисту групи електродвигунів; OK1 – перший об'єкт контролю (перший АД); OKi – *i*-тий об'єкт контролю (*i*-тий АД); БВТ – блок вимірювання температури статорної обмотки; БВС – блок вимірювання фазних струмів; БКН – блок контролю напруги; БК – блок комутації; БВП – блок вторинного перетворення; КЗ – канал зв'язку; БЖ1, БЖ2 – блоки живлення; МК – мікроконтролер; БЦІ – блок цифрової індикації; БЗС – блок звукової сигналізації; БВД – блок вводу даних; БСК – блок спряження з комп'ютером.

Блок контролю електродвигуна складається:

- з блоку вимірювання температури статорної обмотки;
- з блоку вимірювання фазних струмів;
- з блоку контролю напруги;
- з блоку комутації;
- з блоку вторинного перетворення;
- з каналу зв'язку;
- з блоку живлення.

Кількість блоків контролю електродвигунів дорівнює кількості АД у групі електродвигунів.

Блок діагностування та захисту групи електродвигунів складається:

- з каналу зв'язку;
- з мікроконтролера;
- з блоку живлення;
- з блоку цифрової індикації;
- з блоку звукової сигналізації;
- з блоку вводу даних;
- з блоку спряження с комп'ютером.

Розглянемо призначення кожного блоку пристрою більш детально.

Призначення блоку вимірювання температури – це вимірювання та перетворення температури ізоляції статорної обмотки, як параметру діагностування, в інформативний електричний сигнал, який після проміжної обробки надходить на відповідні порти мікроконтролера.

Блок вимірювання фазних струмів складається з трьох перетворювачів струму трансформаторного типу, первинна обмотка яких вмикається послідовно відносно лінійного проводу, що живить електродвигун. Вторинна обмотка перетворювача формує сигнал, пропорційний первинному струму, який надходить після проміжної обробки на відповідні порти мікроконтролера.

Блок контролю напруги призначений для захисту електродвигуна від неповно фазного режиму роботи [7].

Блок вторинного перетворення здійснює обробку сигналів, які надходять з блоків вимірювання температури, вимірювання фазних струмів та з блоку контролю напруги для їх подальшого надання на відповідні порти мікроконтролера.

Блок комутації здійснює відключення електродвигуна з групи електродвигунів від мережі живлення при наявності критичного перевантаження за струмом або при відсутності напруги живлення електродвигуна при наявності сигналу з мікроконтролера.

Канал зв'язку здійснює прийом – передачу сигналів від блоку контролю певного електродвигуна на мікроконтролер. Слід відзначити, що конструктивно канал зв'язку – це універсальний асинхронний приймач, який поділяється на приймач і передавач, які працюють одночасно, незалежно один від одного. За кожним з них закріплений відповідний порт мікроконтролера. Канал зв'язку має інтерфейс RS-485, як один з найбільш розповсюджених стандартів фізичного рівня зв'язку та способу передачі інформації.

Мікроконтролер здійснює опитування кожного блоку контролю електродвигуна, обробку, порівняння вхідних параметрів діагносту-

вання теплових процесів з величинами нормованих уставок за температурою, за фазними струмами та за напругою. В залежності від значення вхідних параметрів після їх порівняння зі значеннями уставок мікроконтролер формує сигнал на блок звукової сигналізації, на блок цифрової індикації, а також формується сигнал на відключення електродвигуна з групи електродвигунів за допомогою блоків комутації блоків контролю електродвигунів.

Блок вводу даних – це клавіатура з чотирма клавішами, яка призначена для керування пристроєм та для ручного вводу даних щодо вхідних параметрів діагностування.

Блок цифрової індикації надає оператору номер несправного електродвигуна з групи електродвигунів, а також надається візуальна інформація у вигляді цифрового коду щодо контрольованих величин параметрів діагностування.

Блок спряження с комп'ютером здійснює обмін даними між пристроєм та персональним комп'ютером.

Блок звукової сигналізації надає оператору звукову сигналізацію щодо наявності аварійного режиму роботи електродвигуна з групи електродвигунів.

Електричне живлення блоків пристрою здійснюють два блоки живлення.

Висновки.

Таким чином, застосування мікропроцесорного пристрою діагностування та захисту групи електродвигунів дозволить контролювати напругу мережі живлення, фазні струми, які протікають в обмотках АД та температуру обмотки статора, а також зіставляючи між собою ці параметри робити висновок щодо наявності будь-якого аварійного режиму.

Впровадження такого пристрою дозволить підвищити експлуатаційну надійність асинхронних електродвигунів.

Література

1. *Закладний О.М.* Захист як складник системи функціонального діагностування асинхронних електродвигунів / *О.М. Закладний, В.В. Прокопенко, О.О. Закладний* // Промелектро. – 2010. – №4. – С.36 – 40.
2. *Соркінд М.* Асинхронные электродвигатели 0,4 кВ. Аварийные режимы работы / *М. Соркінд* // Новости электротехники. – 2005. – №2(32). – С. 36–38.
3. *Грундулис А.О.* Защита электродвигателей в сельском хозяйстве / *А.О. Грундулис.* – М.: Агропромиздат, 1988. – 180 с.

4. *Овчаров В.В.* Эксплуатационные режимы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве / *В.В. Овчаров.* – К.: Изд-во УСХА, 1990. – 168 с.

5. *Кацман М.М.* Электрические машины автоматических устройств: Учеб. пособие для электротехнических специальностей техникумов / *М.М. Кацман.* – М.: ФОРУМ, ИНФРА – М, 2002. – 264 с.

6. *Загірняк М.В.* Електричні машини: підручник / *М.В. Загірняк, Б.І. Невзлін.* – К.: Знання, 2009. – 399 с.

7. *Калашник В.И.* Устройства защиты электродвигателя от неполнофазных режимов работы / *В.И. Калашник, В.П. Черников* // Радиолюбитель. – 2009. – №2. – С.12 – 13.

8. *Шустов М.А.* Практическая схемотехника: 450 полезных схем радиолюбителям / *М.А. Шустов.* – М.: Додэка-XXI, 2007. – 360 с.

ЗАЩИТА АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ОТ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ

Нестерчук Д.Н.

Аннотация

Работа посвящена анализу видов защиты асинхронных электродвигателей от аварийных режимов работы, а также предложена структурная схема микропроцессорного устройства диагностирования и защиты группы асинхронных электродвигателей.

PROTECTION OF INDUCTION MOTORS FROM EMERGENCY MODES

D. Nesterchuk

Summary

Paper analyzes the types of protection from emergency modes of induction motors, and suggests a block diagram of microprocessor device for protection and diagnostics of group of induction motors.