

МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕ- ТРІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ В ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Отримав подальший розвиток підхід до реалізації систем захисту електромеханічних пристроїв перетворення енергії, який на відміну від відомих об'єднує в одному блоці живлення всі функції захисту електропривода, що дозволить підвищити надійність роботи електромеханічних систем.

Розроблено пристрій захисту електропривода від аварійних ситуацій, який на відміну від відомих, об'єднує в одному корпусі всі функції захисту електромеханічної системи, що дозволяє уніфікувати функцію захисту електропривода, полегшити його обслуговування і підвищити надійність роботи.

Ключові слова: *електромеханічна система, моніторинг, електричні параметри, мікропроцесорна система, реєстратор електричних параметрів, пристрій.*

An approach to monitoring electrical network parameters has been developed, which will allow collecting information about all important electrical parameters of the consumer with the possibility of further processing of measurement results, which, unlike the known ones, is implemented on an accessible element base, which allows to achieve an increase in the level of reliability of electrical networks with powerful electric motors.

A device for monitoring electrical network parameters has been developed, which allows collecting information about all important electrical parameters of the consumer with the possibility of further analysis and processing of measurement results. This allows you to identify areas of consumer operation with overload or unacceptable power parameters.

Keywords: *electromechanical system, monitoring, electrical parameters, microprocessor system, electrical parameters recorder, device.*

Вступ

Параметри електричної мережі необхідно вимірювати для оцінки якості електропостачання. Чим більше споживачів приєднано до електричної мережі і чим потужніший генератор енергії, тим менше відчувається вплив кожного окремого споживача на параметри мережі загалом. У випадку, коли потужність генератора співрозмірна з потужністю окремих споживачів, що підключені до цього генератора, вплив окремих споживачів стає вагомим. Тоді зміни параметрів потужних споживачів призводять до відповідної зміни параметрів мережі загалом. Особливо показово це у випадку живлення потужних електричних приводів, які під час перехідного процесу запуску чи реверсування, можуть генерувати кратні до номінальних навантаження на електромережу.

В силу поступового руху до повної автоматизації та цифровізації технологічного процесу сучасного виробництва засоби вимірювання та контролю реалізують на промислових контролерах, які можна інтегрувати в мережі SCADA. Також їх можна перепрограмувати, виконати збір і аналіз інформації, систематизувати цю інформацію і на основі штучного інтелекту в тому числі видати рішення для покращення, передбачення несправності тощо [1].

Тому питання вимірювання та моніторингу параметрів електричної мережі саме в електромеханічних системах є особливо актуальним.

Метою наукової роботи є підвищення рівня надійності роботи електричних мереж за рахунок моніторингу електричних параметрів споживачів з електричними двигунами, що дозволить вчасно виявити порушення і відреагувати на них.

Результати дослідження

Надійність функціонування електромеханічних систем автоматизації (ЕМСА) критично залежить від стабільності параметрів живлючої електричної мережі. Традиційні системи моніторингу часто виконують або безперервний запис великих обсягів даних (що є надмірним), або фіксують лише інте-

гральні показники. Це ускладнює оперативну діагностику та ідентифікацію короточасних, але критичних подій, таких як провали напруги чи перехідні процеси.

Водночас, актуальною проблемою промислових підприємств є оцінка фактичної енергоефективності обладнання. Знос, механічні пошкодження або неоптимальні режими керування призводять до збільшення споживання електричної потужності при незмінній або зниженій механічній продуктивності. Це вимагає розробки інтегрованих методів, які б поєднували моніторинг КОЕ з діагностикою ефективності роботи системи.

Запропонований підхід базується на двоступеневому контролі, реалізованому на базі мікропроцесорної системи (МПС).

На першому етапі МПС постійно працює в режимі швидкого сканування (наприклад, з частотою дискретизації вище $f_s = 3.2\text{кГц}$, що відповідає вимогам стандарту ІЕС 61000-4-30), контролюючи ключові параметри, які можуть бути обчислені за короткий проміжок часу (наприклад, за період 10/12 циклів): середньоквадратичне значення напруги (Urms); частота мережі (f); коефіцієнт гармонічних спотворень напруги (THDU). Ці параметри безперервно порівнюються з попередньо встановленими межами допустимих відхилень згідно з ДСТУ EN 50160:2014).

Якщо значення будь-якого з контрольованих параметрів виходить за межі встановленого допуску, МПС автоматично ініціює режим глибокого аналізу та запису даних.

Тривалість запису: Запис включає часовий інтервал до моменту виникнення відхилення (пре-тригер) і після нього (пост-тригер) для повного аналізу перехідного процесу.

Параметри запису: У цьому режимі записуються не лише інтегральні показники, але й осцилограми напруги та струму, що дозволяє детально аналізувати форму сигналу, фазові кути та природу спотворень (провал, перенапряг, імпульс).

Такий адаптивний підхід значно зменшує обсяг збережених даних, зосереджуючи інформаційну цінність лише на аномальних подіях, що спрощує пошук причин збоїв.

Для оцінки енергоефективності ЕМС використовується функція порівняння фактичної електричної та розрахункової механічної потужностей.

Фактична електрична потужність, споживана системою, обчислюється в режимі реального часу за вимірними значеннями напруги $u(t)$ та струму $i(t)$:

$$P_{\text{ел}} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t)dt$$

де T — період вимірювання (зазвичай 1 або декілька періодів основної частоти).

Механічна потужність, що видається обладнанням, визначається за допомогою додаткових сенсорів:

$$P_{\text{мех}} = M \cdot \omega$$

де: M — обертальний момент на валу, вимірюється тензометричними датчиками або оцінюється за струмом якоря (для DC-машин) чи вектором струму (для AC-машин); ω — кутова швидкість обертання валу, вимірюється енкодером або тахогенератором.

Коефіцієнт корисної дії системи (η) обчислюється шляхом порівняння отриманих потужностей:

$$\eta = \frac{P_{\text{мех}}}{P_{\text{ел}}} \cdot 100\%$$

Діагностичне значення: зниження η нижче встановленого порогу (наприклад, 5% ÷ 10% від номінального значення) при незмінному навантаженні свідчить про:

- збільшення втрат у самому двигуні (знос підшипників, погіршення ізоляції).
- збільшення механічних втрат у приводному механізмі (наприклад, тертя у редукторі).
- неоптимальне керування двигуном (особливо для векторних приводів).

Запропонований підхід базується на двоступеневому контролі, реалізованому на базі мікропроцесорної системи (МПС).

Для забезпечення адаптивного моніторингу пропонується така архітектура МПС: сенсори (ТТ/ТН), АЦП, мікроконтролер/DSP, блок "Онлайн-контроль та порівняння", блок "Активізація запису" (пам'ять), комунікаційний інтерфейс.

Процес прийняття рішень щодо режиму роботи системи може підпорядковуватися алгоритму. Ключові етапи алгоритму:

1. Початок (старт), ініціалізація, обнулення всіх попередніх процесів.
2. Вимірювання ключових параметрів (наприклад, Urms, f в режимі Fast Scan (швидкого моніторингу)).

3. Блок перевірки відхилень від заданих меж зміни контрольованих параметрів: U_{rms} , U_{min} , U_{max} .
4. Якщо всі параметри в нормі, продовжити Fast Scan (крок 2).
5. Якщо є відхилення контрольованих параметрів від встановлених граничних значень виконати активацію режиму Deep Analysis (активації запису даних).
6. Запис осцилограм (з пре- та пост-тригером).
7. Повернення до Fast Scan.

Запропонований адаптивний підхід реалізується на базі високопродуктивного мікроконтролера або цифрового сигнального процесора (DSP), що забезпечує необхідну швидкість обробки даних для FFT-аналізу та одночасного виконання алгоритмів розрахунку потужності та ККД.

Висновки

Розроблений адаптивний підхід до моніторингу параметрів електричної мережі, доповнений функцією оцінки ККД, являє собою ефективний інструмент підвищення надійності та енергоефективності електромеханічних систем. Перехід від тотального запису до моніторингу, заснованого на подіях, у поєднанні з діагностикою ефективності, дозволяє промисловим підприємствам оптимізувати свої експлуатаційні витрати та реалізувати сучасні стратегії керування активами на основі фактичного технічного стану. Основні переваги підходу: економія ресурсів зберігання за рахунок мінімізації обсягу даних шляхом запису лише значущих подій; підвищення оперативності за рахунок швидкого виявлення та фіксація аномалій, що скорочує час діагностики; інтегрована діагностика, що реалізується за рахунок одночасного контролю якості живлення та енергоефективності обладнання; реалізація предикативного обслуговування за рахунок зниження ККД, який в свою чергу є чітким кількісним індикатором необхідності технічного обслуговування до настання аварійного відмови.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Moshnoriz M. (2024) EFFICIENCY OF THE DRIVE ELECTRIC MOTOR DURING ITS WORK. Monograph: SCIENTIFIC THOUGHT DEVELOPMENT: Innovative technology, Computer science, Security systems, Transport development, Architecture and construction. Minieiev S.P., Kornietskyi A., Dreval I., Skakalina O.V., Soroka K. Karlsruhe, Germany, June, 2024. Ref. SGE31-031 July 29, 2024. No. sge31-02 (2024): Scientific thought development '2024.. 203 pages, 12 chapters. IndexCopernicus. DOI: <https://doi.org/10.30890/2709-2313.2024-31-02>. P.29-37. Published: 2024-06-30. URL: <https://desymp.promonograph.org/index.php/sge/issue/view/sge31-02/sge31-02>. DOI: 10.30890/2709-2313.2024-31-02

2. Moshnoriz Mykola, Sukhlyak Y., Barchuk V., Moshnoriz Maria (2025). APPROACH TO ASSESSING THE EFFICIENCY OF THE ELECTROMECHANICAL SYSTEM FOR THE PRODUCTION OF COMPRESSED AIR. Modern engineering and innovative technologies Issue 40 / Part 1, 2025. P. 56-72. URL: <https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit40-01/meit40-01>. DOI: 10.30890/2567-5273.2025-40-01-04. DOI:10.30890/2567-5273.2025-40-01.

3. Мошноріз М. М., Грибовський О. А. (2025) ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ЕКСКАВАТОР ГІРНИЧОВИДОБУВНОГО КАР'єРУ. Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції студентів аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)». Секція "Електроенергетика та електромеханіка". 15.06.2025-16.06.2025, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця. [Електронний ресурс]. URL1: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/paper/view/22947>. URL2: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/paper/view/22947/18933>. ISBN 978-617-8163-14-3

Мошноріз Микола Миколайович – канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, e-mail: moshnoriz@vntu.edu.ua.

Огородник Олександр Володимирович – здобувач освіти групи ЕПА-24м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: alexogorodnik43@gmail.com.

Moshnoriz Mykola Mykolayovych – Cand. tech. Sciences, Associate Professor of Computerized Electromechanical Systems and Complexes, Vinnytsia National Technical University, e-mail: moshnoriz@vntu.edu.ua.

Ogorodnik Olexsandr Volodymyrovych – student of the EPA-24m group, Faculty of Electrical Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, e-mail: alexogorodnik43@gmail.com.