

synchronization and the influence of an external electromagnetic field on their activity. Numerical modeling was implemented in MATLAB/Simulink, demonstrating the effects of cell depolarization and hyperpolarization under the influence of electromagnetic oscillations. The results confirm the possibility of regulating ionic conductivity and cell excitability using weak electromagnetic fields, which has significant potential for biomedical technologies.

Keywords: *electromagnetic field, sodium channel, membrane potential, cell pulsations, mathematical model, depolarization, hyperpolarization, Kuramoto model.*

УДК 621.315.68:621.3.019

ПРОГНОСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕМЕНТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ: ЕЛЕКТРИЧНЕ КОНТАКТНЕ З'ЄДНАННЯ

Адамчук Владислав

здобувач вищої освіти спеціальності 141 Електроенергетика,
електротехніки та електромеханіка

Миколаївський національний аграрний університет
м. Миколаїв, Україна

Анотація: *Представлено підхід до дослідження та прогностичного оцінювання надійності електричного контактного з'єднання (КЗ) як типового елемента енергетичного обладнання. Підхід поєднує мультифізичне моделювання у середовищі Ansys (тепло-електричні зв'язки) з експериментальним дослідженням у кліматичній камері із контрольованими температурою та відносною вологістю. Описано експериментальний стенд (тепловізор Testo 890, датчик вологості-температури ДВТ-03.т, зволожувач), матрицю експерименту (варіювання T, RH та навантаження на КС), а також елементи автоматизації регулювання вологості. Показано, як отримані температурні поля та електричні параметри КС можуть бути використані для прогностичного розрахунку показників надійності та часу до відмови, що створює підґрунтя для системи превентивного обслуговування.*

Ключові слова: *контактне з'єднання; перехідний опір; тепловізійний контроль; Ansys Workbench; теплове поле; відносна вологість; прогноз надійності.*

Метою роботи є створення та верифікація моделі контактного з'єднання енергетичного обладнання з подальшим прогностичним розрахунком показників надійності на основі математичних моделей. Очікуваний результат – одержання даних, придатних для побудови автоматичної системи прогностичного моделювання елементів енергосистеми, що дозволяє оцінювати наближений час до відмови та завчасно вживати запобіжних заходів для зниження аварійності та витрат.

Експеримент проводиться у камері з регулюванням температури та вологості. До складу вимірювально-діагностичного комплексу входять: цифровий мультиметр Mastech MY65; тепловізор Testo 890 для безконтактної візуалізації температурних полів; датчик вологості та температури ДВТ-03.т; ультразвуковий зволожувач (живлення 220–240 В, 35 Вт; об'єм резервуара 3 л).

Структурна схема експериментальної установки включає лінійний автотрансформатор, камеру, зволожувач, показовий термометр, датчик вологості, модуль живлення, тепловізор і комп'ютер [1].

Для ліній та кабельних з'єднань в системі автоматизації експерименту застосовуються ізольовані проводи з мідними або алюмінієвими жилами з урахуванням умов середовища; для інформаційних ліній використано ПВС 1×1,5 (мідна жила, ПВХ-ізоляція), для живлення – ПВС 3×2,5.

Умови випробувань узагальнено у матриці, яка передбачає зміни трьох груп факторів: (1) температуру в камері у діапазоні ~22–50 °С; (2) відносну вологість у широкому діапазоні (до 90 %); (3) потужність/навантаження на КС із фіксованими та змінними рівнями (Const та градуйовані значення 38,75; 51; 66,5; 82 тощо). Наведені комбінації охоплюють як сталу температуру при змінній вологості, так і сталу вологість при змінній температурі, а також серії із сталою потужністю/навантаженням.

Контактні деталі моделюються методом скінченних елементів у середовищі Ansys. Для опису теплових процесів у КЗ застосовано зв'язані модулі thermal-electric (визначення джоулевого нагріву та електричних параметрів) і transient thermal (нестационарне теплоперенесення); результати першого використовуються як вхідні дані для другого. Побудова геометрії виконується у DesignModeler (або імпортується з CAD-середовищ), налаштування граничних умов і розв'язувача – у Mechanical [2].

Цифрові термограми, отримані тепловізором, планується використовувати для верифікації температурних полів, визначених СЕ-моделлю, а також для непрямої оцінки перехідного опору КС (через зв'язок між локальним перегрівом і струмовим навантаженням). Верифікація передбачає порівняння модель/експеримент у зіставних режимах матриці. (Зазначено у роботі як базова ідея валідації моделі експериментом.)

Для стабілізації параметрів середовища передбачено систему керування вологістю на базі програмованого логічного контролера (ПЛК) і двопозиційного реле для вмикання/вимикання зволожувача. Розробляється функціональна схема із переліком контрольованих параметрів, місцями встановлення первинних перетворювачів та описом функцій засобів автоматизації.

Результати моделювання та експерименту використовуються для прогностичного розрахунку показників надійності КС за математичними моделями. Концептуально така система може у режимі реального часу одержувати параметри середовища, підставляти їх у модель та оцінювати час до відмови. Практична значущість – попередження аварійних ситуацій і зниження витрат на ліквідацію наслідків, а також потенційна масштабованість до енергооб'єктів (електричні/теплові станції, промислові системи), де контроль стану вузлів, схильних до нагріву в умовах змінної температури/вологості, є критичним [3].

Для забезпечення відтворюваності необхідно фіксувати емісійність поверхонь у тепловізорі, дистанцію, фокус і умови освітлення; для датчика ДВТ-03.т – клас точності та похибку. Ці аспекти впливають із опису засобів вимірювання та їхніх технічних даних. Матриця має забезпечити покриття характерних режимів (сталіх і перехідних) та достатню повторність, щоб оцінити статистичну надійність узгодження модельних та експериментальних температурних полів. Задекларована можливість побудови автоматичної системи прогностичного моделювання створює підґрунтя для політики ТО «за станом», що, з урахуванням отриманого прогнозу часу до відмови, дозволяє планувати превентивні заходи [4].

Запропоновано інтегрований підхід до дослідження надійності контактних з'єднань: скінченно-елементне моделювання у Ansys (thermal-electric → transient thermal) та експеримент у керованих умовах з тепловізійним контролем. Матриця експерименту охоплює зміни температури, відносної вологості та навантаження на КЗ. Результати використовуються для прогностичного оцінювання часу до відмови та побудови автоматизованої системи превентивного обслуговування елементів енергетичного обладнання.

Список використаних джерел

1. Руденко А., Мардзявко В., Чурило Р. Електрофізичні методи обробки сільськогосподарської продукції. Миколаїв, 2022. 50 с.
2. Influence of humidity on endurance of electrical contact during fretting wear / X.-l. Liu et al. *Journal of materials engineering and performance*. 2021. Vol. 31, no. 2. P. 933–943.
3. Meng Y., Ren W., Zhang C. A degradation model of electrical contact performance for copper alloy contacts with tin coatings under power current-carrying fretting conditions. *Coatings*. 2024. Vol. 14, no. 12. P. 1587.
4. Song J., Shukla A., Probst R. The state of health of electrical connectors. *Machines*. 2024. Vol. 12, no. 7. P. 474.
5. Comparison of Active Power Losses of Single-Phase Electromagnetic Static Devices by Radial Electromagnetic System / O. Sadovoy et al. 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 20–23 October 2022. 2022. URL: <https://doi.org/10.1109/mees58014.2022.10005760>

Abstract: *The paper outlines a combined simulation–experimental approach to assess the reliability of an electrical contact joint of power equipment. A thermo-electric finite-element model in Ansys is verified by thermal imaging measurements in a climatic chamber with controlled temperature and relative humidity. The experimental setup (Testo 890 thermal imager, DVT-03.t humidity/temperature sensor, humidifier), the experimental matrix (variation of T, RH, and load on the joint), and a basic humidity control scheme are described. The results are intended for prognostic reliability calculations and time-to-failure estimation to enable preventive maintenance.*

Keywords: *electrical contact joint; contact resistance; thermal imaging; Ansys Workbench; thermal field; relative humidity; reliability prognosis.*

Науковий керівник:
Вахоніна Л.В.
Канд. фіз.-мат. наук, доцент
кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки
Миколаївський національний аграрний університет

УДК 004.89:621.311.1

ЗАСТОСУВАННЯ ГЛИБИННИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ У РОЗПОДІЛЕНИХ ЕНЕРГОСИСТЕМАХ

Дмитро Кошкін
канд. техн. наук, доцент Миколаївський національний аграрний
університет
м. Миколаїв, Україна

Анотація: У тезах досліджено використання методів штучного інтелекту (ШІ) для підвищення ефективності процесів розподілу електроенергії та ідентифікації вразливих місць в електроенергетичних мережах. Показано, що за умов зростання частки відновлюваних джерел енергії, активної цифровізації та посилення кіберзагроз класичні централізовані системи керування потоками потужності виявляються малопридатними для оперативної адаптації до змін режимів. Обґрунтовано застосування алгоритмів машинного й глибокого навчання для задач прогнозування навантаження, оптимізації схем енергорозподілу та інтелектуальної діагностики аномальних режимів з метою завчасного виявлення технічних відмов і потенційних кібератак. Розглянуто переваги й обмеження централізованих, децентралізованих і гібридних структур керування, а також висвітлено можливості блокчейн-технологій і смартконтрактів для забезпечення прозорості, простежуваності й захисту транзакцій в енергомережах. Виокремлено основні чинники, що визначають результативність моделей ШІ в енергетиці (повнота й якість даних, обчислювальний ресурс, рівень зашумлення сигналів, стійкість до кіберзагроз), та окреслено перспективні напрями розвитку гібридних інтелектуальних систем керування електроенергетичними мережами.

Ключові слова: оптимізація розподілу електроенергії; методи штучного інтелекту; прогнозування електричних навантажень; виявлення аномальних режимів; електроенергетичні мережі; блокчейн-технології; гібридні системи управління.

Сучасні електроенергетичні системи працюють в умовах зростання попиту на електроенергію, активного впровадження відновлюваних джерел та глибокої цифрової трансформації енергетичної інфраструктури. Така комбінація факторів призводить до ускладнення топології мереж, підвищення вимог до надійності,