

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДІАГНОСТИКИ ШИХТОВАНИХ ОСЕРДЬ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОТОЧНОГО СТАНУ СИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

В. В. Прус¹, О. О. Дегтяренко², І. С. Конох¹, В. С. Дзюбан¹

¹Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

²ІрАТ «МК «Азовсталь»

ORCID: 0000-0002-2203-6878; 0000-0003-3753-1289; 0000-0001-5930-1957; 0000-0002-5021-4328

У статті всебічно розглянуто питання забезпечення вірогідності діагностики основних видів дефектів шихтованих осердь статорів при спільному застосуванні локального індукційного методу та відеоідентифікації поверхні зубцевої зони осердь статорів, а також досліджено можливості врахування їх властивостей при прогнозуванні стану синхронних двигунів. Отримані результати уточнюють умови проведення локального тестування шихтованих осердь з позицій визначення необхідного набору діагностичних параметрів, чутливих до основних видів дефектів при використанні безконтактного способу тестування, розкривають особливості використання нейромережових аналізаторів для визначення дефектів зубцевої зони шляхом відеоідентифікації та обґрунтовують принципи застосування штучних нейронних мереж у задачах прогнозування станів основних конструктивних вузлів та синхронних двигунів у цілому, обумовлених зміною властивостей шихтованих осердь статорів.

Ключові слова: синхронний двигун, конструктивний вузол, шихтоване осердя статора, дефект, локальне тестування, діагностичний параметр, штучна нейрона мережа.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. На сьогоднішній день в умовах промислових підприємств експлуатується велика кількість синхронних двигунів (СД) з тривалим напрацюванням ресурсу. Вони переважно характеризуються відмінністю від паспортних електромагнітних параметрів та погіршеними енергетичними показниками і показниками надійності, підвищеним рівнем нагріву обмоток та електромагнітних вібрацій.

Поряд з іншими причинами, це обумовлено зміною властивостей шихтованих осердь статорів (ШОС), що є основним конструктивним елементом, не замінюваним у ході ремонтів, та доводить актуальність проблеми визначення та врахування дійсних властивостей та стану ШОС при обґрунтуванні можливостей подальшого використання СД за призначенням [1].

Однією з основних задач, що визначають ефективність застосування використовуваних методів та систем контролю і діагностики стану ШОС, є забезпечення достатнього ступеню їх вірогідності, що, у свою чергу, обґрунтовує вимоги до кількісного та якісного складу незалежних діагностичних параметрів, на яких базується визначення критеріїв діагностики [2], особливостей застосування додаткової відеоідентифікації осердь у ході локальної діагностики та способів врахування зазначених змін при прогнозуванні стану СД у цілому [3].

Мета роботи. Визначення основного набору незалежних діагностичних параметрів, які дозволяють достовірно розрізнити основні види дефектів шихтованих осердь статорів під час їх локального тестування з використанням індукційного методу та особливостей застосування штучних нейронних мереж у задачах відеоідентифікації поверхні осердь та визначення стану синхронних двигунів.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Базовий метод локального тестування шихтованих осердь детально розкрито у [4]. В його основу покладено наведення та контроль магнітного потоку у зубцях статора за допомогою приставних індукторів. До його основних недоліків слід віднести недо-

статній рівень вірогідності, що обумовлено рядом питань, частково вирішених у [4].

При цьому невирішеними залишаються питання:

– збільшення похибки вимірювань частини діагностичних параметрів в умовах насичення сталі, що обумовлює втрату їх інформативності;

– врахування впливу повітряних проміжків, що виникають між індуктором та зубцем та обумовлюють змінну величину магнітного опору отримуваного кола, що позначається на вірогідності результатів діагностики.

При вирішенні цих задач у якості основи забезпечення достатнього рівня вірогідності локальної діагностики ШОС використовувались стала інформативність діагностичних параметрів та однозначна їх реакція на основні види дефектів.

Відповідно до чинних стандартів [2], під діагностичними приймалися параметри функціонування досліджуваного об'єкта, за якими можна прийняти науково обґрунтоване рішення про його стан. При цьому до незалежних було віднесено ті параметри, що не можуть бути отримані простою лінійною комбінацією інших.

Так, наприклад, при діагностиці відповідно до [4], за умов лінійності навантаження кола намагнічування індуктора при синусоїдальному живленні для випадку, коли інформативними сигналами є напруга живлення $u_1(t)$ (завдання) та електричний струм $i_1(t)$ (відгук), кількість незалежних інтегральних діагностичних параметрів обмежена трьома, що пояснюється рис. 1.

Дійсно, маючи діюче значення напруги U_1 , струму I_1 та значення кута зсуву фаз φ , можна досить легко отримати всі інші інтегральні величини, що характеризують вищезгадане коло: середні значення – $U_{1cp} = U_1 / 1,11$, $I_{1cp} = I_1 / 1,11$; амплітудні значення – $U_{1max} = U_1 \sqrt{2}$, $I_{1max} = I_1 \sqrt{2}$; активну, реактивну та повну потужності – $P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi$, $Q_1 = U_1 I_1 \sin \varphi$, $S_1 = U_1 I_1$, опори кола –

$$R_1 = Re \left(\frac{U_1 e^{j\varphi_{u1}}}{I_1 e^{j\varphi_{i1}}} \right), X_1 = Im \left(\frac{U_1 e^{j\varphi_{u1}}}{I_1 e^{j\varphi_{i1}}} \right), Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2}.$$

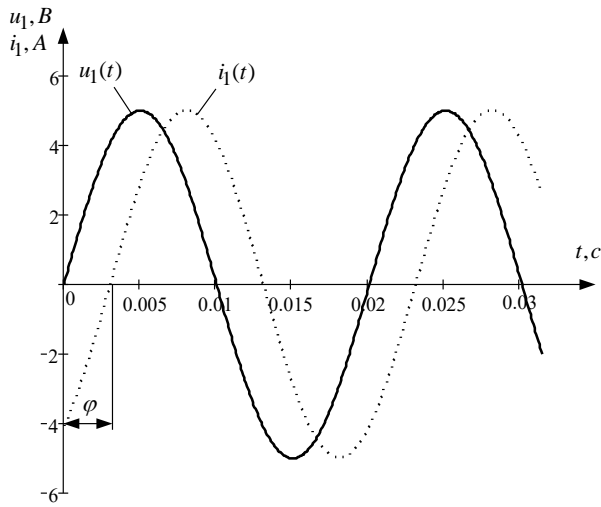


Рисунок 1 – Аналіз кола намагнічування індуктора при лінійному навантаженні та синусоїдальному живленні

Для випадку, коли навантаження кола намагнічування є нелінійним і напруга живлення за формою може бути несинусоїдальною, що практично відповідає реальним режимам роботи системи локального тестування, кількість незалежних діагностичних параметрів значно зростає.

Так, для цього випадку (рис. 2) діючі значення напруги U_1 і струму I_1 не пов'язані однозначно визначеними чисельними співвідношеннями з відповідними середніми та амплітудними значеннями, а значення кута зсуву фаз φ фактично не має чіткої фізичної інтерпретації.

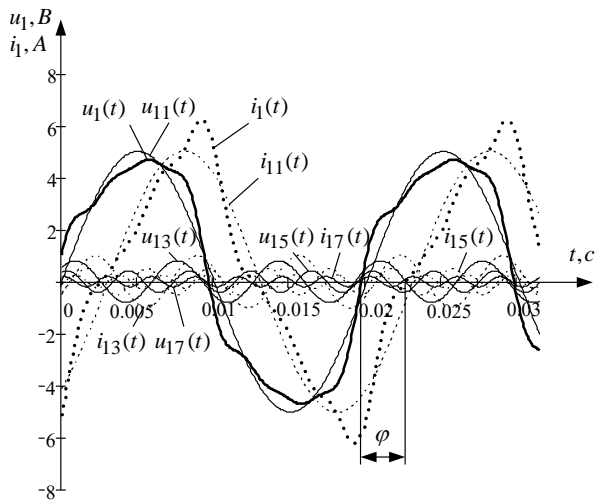


Рисунок 2 – Аналіз кола намагнічування індуктора при нелінійному навантаженні та несинусоїдальному живленні

Натомість цього, визначається цілий ряд параметрів для гармонічних складових, що виділяються в вихідному сигналі: амплітуда і початкова фаза, одержувані за результатами процедури дискретного або швидкого перетворення Фур'є – $A_p = |a_p + jb_p|$,

$\varphi_p = arg(a_p + jb_p)$, де a_p, b_p – квадратурні складові сигналів напруги та струму; активна, реактивна і повна потужності – $P = \sum_p P_{кв\ p}$; $Q = \sum_p Q_{кв\ p}$;

$$S = \sum_p \sqrt{P_{кв\ p}^2 + Q_{кв\ p}^2}, \text{ де } P_{кв\ p}, Q_{кв\ p} \text{ – потужності}$$

гармонік, розраховані за квадратурними складовими:

$$P_{кв\ p} = \frac{a_{i1p} a_{u1p} + b_{i1p} b_{u1p}}{4}; \quad (1)$$

$$Q_{кв\ p} = \frac{a_{i1p} b_{u1p} - a_{u1p} b_{i1p}}{4}, \quad (2)$$

де $a_{u1p}, b_{u1p}, a_{i1p}, b_{i1p}$ – квадратурні складові напруги і струму, отримані на основі відомих співвідношень; активні і реактивні опори для гармонік повного кола – $R_p = Re \left(\frac{U_{1p} e^{j\varphi_{u1p}}}{I_{1p} e^{j\varphi_{i1p}}} \right)$, $X_p = Im \left(\frac{U_{1p} e^{j\varphi_{u1p}}}{I_{1p} e^{j\varphi_{i1p}}} \right)$;

кути зсуву фаз між гармоніками кривих $u_1(t)$ і $i_1(t)$

$$- \varphi_{u1i1p} = arccos \left(\frac{P_{кв\ p}}{I_{1p} \cdot U_{1p}} \right); \text{ коефіцієнти нелінійних викривлень } THD_X = \sqrt{\sum_{p=2}^k X_p^2} / X_1, \text{ де } k \text{ – чис-$$

ло гармонік.

Тобто, можна виділити по три незалежні складові для кожної з гармонік і, крім цього, ряд інтегральних параметрів, що характеризують сигнал у цілому, найчастіше не маючи фізичної інтерпретації, але чутливих до пошкоджень, що діагностуються.

Для перевірки ефективності режимів діагностування були проведені експериментальні дослідження для ділянок осердя з різними видами пошкоджень (ослаблення пресування (розпушення) та закорочування листів) при зміні амплітуди й частоти живлячої напруги індуктора для чотирьох фіксованих значень величини повітряного проміжку h_n між індуктором і зубцем ($h_n = 0, 0,5, 1$ і $1,5$ мм). Метою досліджень була оцінка зміни чутливості діагностичних параметрів при контактному та безконтактному способах діагностики.

При визначенні незалежних діагностичних параметрів вони визначались згідно з [4, 5].

Так як візуально досить складно відрізнити нормальні та пошкоджені ділянки ШОС, пошкодження вносились штучно. Так, попередньо знімалися характеристики для нормальних ділянок ШОС СД, що раніше не експлуатувалися, а потім ці ж самі ділянки примусово закорочувалися або розпушувалися.

До особливостей розрахунків досліджуваних параметрів слід віднести визначення P_μ через гармонічні складові відповідно до (1) та застосування модифікованого співвідношення для визначення коефіцієнтів нелінійних викривлень

$$THD_X = \frac{\sqrt{\frac{1}{m} \sum_{q=0}^{m-1} [x(t_q) - X_{1max} \sin(\omega t_q + \varphi_1)]^2}}{X_1}, \quad (3)$$

де $x(t_q)$ - миттєві значення досліджуваних величин у точках дискретизації t_q ; X_{1max} і φ_1 - амплітуди і початкові фази перших гармонік сигналів. Інші параметри визначались відповідно до рекомендацій [4] з урахуванням особливостей визначення параметрів полігармонічних сигналів у теоретичній електротехніці, а кут зсуву фаз φ_{IU2} - через відновлення дійсних переходів через вісь часу кривими $u_2(t)$ та $i_1(t)$.

Вимірювання були виконані за допомогою вимірювально-діагностичного комплексу на основі плати багатоканального аналогово-цифрового перетворення (12-розрядний АЦП AD7892-AN1 з періодом дискретизації по каналу 6 мкс), обчислення проводились відповідно до особливостей реалізації наведених алгоритмів у [6].

Дані експериментальних вимірювань підтвердили чутливість обумовленого набору діагностичних параметрів, що являють собою електричні та магнітні параметри насиченого кола зі сталлю, до зміни амплітуди й частоти напруги живлення вимірювального індуктора за мінімальної відстані від нього до поверхні зубця, як показано на рис. 3–6.

Отримані результати свідчать, що для визначених умов, з аналізованих параметрів найбільш інформативними є коефіцієнт нелінійних викривлень напруги THD_{U2} на вимірювальній обмотці (рис. 3), повний магнітний опір Z_M ділянки магнітного кола «індуктор – ділянка осердя» (рис. 4), втрати P_μ у сталі на ділянці статора (рис. 5).

Для них середня зона нечутливості в умовах можливих завод є найбільшою і становить у відсотках для дефектів закорочування/послаблення пресування відносно нормальної ділянки відповідно +7,24/+13,31 %; -18,79/-8,42 %; +35,26/+42,34 %.

При цьому відстань від поверхні індуктора до зубців статора за результатами розрахунків має бути мінімальною і визначається припустимим технологічним перепадом при збиранні осердя у 0,25–0,5 мм.

За результатами досліджень, подібна реакція на величину повітряного проміжку спостерігалась і у інших діагностичних параметрів.

Таким чином, експериментальні дослідження підтвердили доцільність введення у коло «індуктор – ділянка осердя» повітряного проміжку і обґрунтували можливість знаходження його раціональної величини, за якої без втрат вірогідності результатів вимірювань можна компенсувати вплив нерівномірності контакту індуктора з зубцем.

Ефективність розпізнавання типових дефектів ШОС на цифрових відео- та фотозображеннях, отриманих відповідно до [3], засобами штучних нейронних мереж (ШНМ) підтверджується у роботах [7, 8]. При цьому для більш успішного

розв'язання завдання аналізу регулярних структур, таких, як поверхні зубців статора СД, необхідно використовувати структурний підхід, заснований на лінгвістичному аналізі зображень.

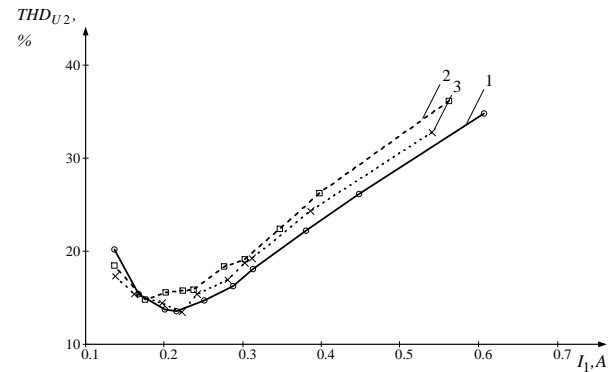


Рисунок 3 – Результати визначення чутливості коефіцієнта нелінійних викривлень напруги THD_{U2} при безконтактному тестуванні на частоті 50 Гц для нормальної (1), закороченої (2) та розпушеної (3) ділянок осердя статора

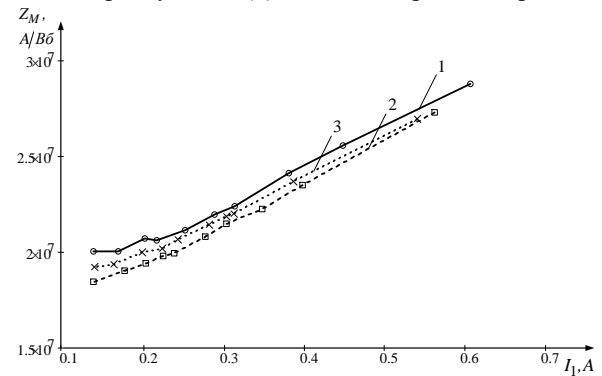


Рисунок 4 – Результати визначення чутливості повного магнітного опору Z_M при безконтактному тестуванні на частоті 50 Гц для нормальної (1), закороченої (2) та розпушеної (3) ділянок осердя статора

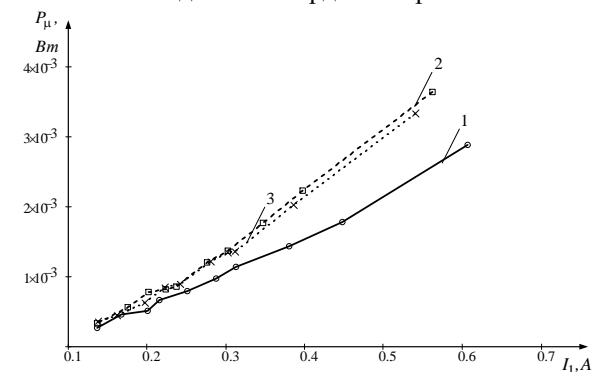


Рисунок 5 – Результати визначення чутливості втрат P_μ у сталі на ділянці статора при безконтактному тестуванні на частоті 50 Гц для нормальної (1), закороченої (2) та розпушеної (3) ділянок осердя статора

При його застосуванні обумовлено модель нейромережевого аналізатора, наведену на рис. 6. Як видно, розроблена модель повинна виконувати наступні етапи:

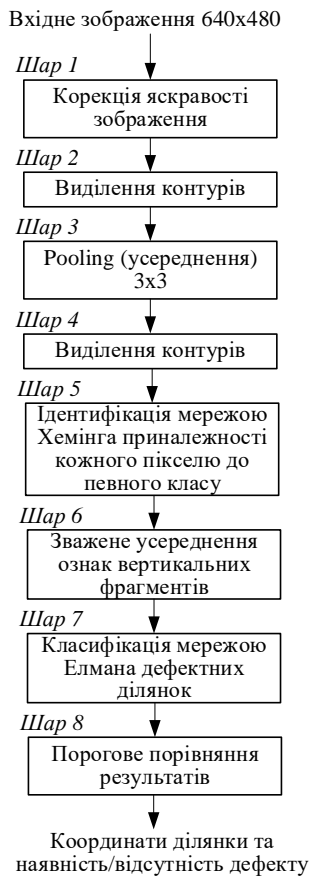


Рисунок 6 – Модель неймережевого аналізатора пошкоджень зубців

1. Отримання чергового зображення розмірністю від 640x480 до 500x500 пікселів та приведення його до напівтонового, що передбачає розрахунок середнього значення яскравості та середнього її перепаду, а також корекцію яскравості і контрастності зображення.

2. Виділення контурів зображення оператором виду:

$CernelX =$

-1	-1	0	1	1
-1	-1	0	1	1
-1	-1	0	1	1
-1	-1	0	1	1
-1	-1	0	1	1

$CernelY =$

-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1
0	0	0	0	0
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1

Обчислення суми добутоків кодів околичних пікселів з елементами ядер $CernelX$ та $CernelY$ для поточного пікселю з координатами x, y :

$$ResX = \sum_{i=1..5, j=1..5} Br(x_i, y_j) \cdot CernelX_{i,j}, ResY = \sum_{i=1..5, j=1..5} Br(x_i, y_j) \cdot CernelY_{i,j}$$

При цьому нове значення яскравості обчислюється за виразом:

$$Br(x, y) = round(255 - \frac{\sqrt{ResX^2 + ResY^2}}{5,5})$$

3. Зменшення розмірності зображення шляхом виклику на виконання шару Pooling (усереднення), що здійснюється ковзним вікном розмірністю 3x3.

4. Повторення п. 4 для підвищення контрастності межі між пластинами ШОС.

5. Відновлення зображень межі між пластинами, що складають ШОС, за допомогою нейронної мережі Хемінга з розмірністю вектора 49, що передбачає аналіз на кожному кроці перегляду фрагменту зображення 7x7. При цьому мережа Хемінга формує для кожного пікселя зображення додатковий атрибут, що відносить його до певного класу: 1 – фон, 2 – поверхня зубця статора, 3 – проміжок між зубцями, 4 – нерозпізнаний фрагмент, реалізуючи таким чином для вхідного зображення матрицю ознак для подальшої класифікації.

6. Зважене усереднення ознак вертикальних фрагментів зображення для отримання вектору стану поверхні зубців розмірністю 2x30, положення кожного елемента якого відповідає положенню пікселя.

7. Подання вектора станів ковзним вікном 2x30 на вхід рекурентної мережі Елмана, яка формує вихідне значення в межах [0;1], де 0 – поверхня зубців у нормі, 1 – пошкоджена поверхня зубців.

8. Виконання порогового порівняння результатів роботи мережі Елмана з емпірично визначеним порогом, що забезпечує у випадку фіксації пошкодження видачу координати його місця положення.

Використовувана мережа Хеммінга є тришаровою нейронною мережею зі зворотним зв'язком. Кількість нейронів вхідного шару 49, вихідного – 4. Мережа Елмана містить 60 вхідних нейронів, 10–15 нейронів прихованого шару, таку ж кількість контекстних нейронів та один вихідний нейрон. Для її навчання було використано вибірку зі 120 оброблених зображень.

Результати обробки зображення зубців розробленою моделлю представлено на рис. 7.

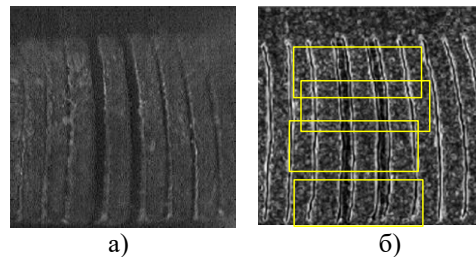


Рис. 7 – Результати обробки зображення зубців при відеоідентифікації дефектів: а) вхідне зображення; б) результати пошуку дефектів

При розробці математичних моделей визначення стану та прогнозування надійності СД був обґрунтований підхід на основі залежностей, що відбивають взаємозв'язки між зміною властивостей цих елементів, з урахуванням впливу на систему зовнішніх факторів, що описують зміну навантаження СД і параметрів їх живлення.

Зазначене завдання було сформульоване як апроксимаційне, що передбачає побудову математичної моделі нелінійного оператора, який однозначно відображає множину вхідних сигналів на множині вихідних сигналів динамічної системи.

Таке завдання може бути вирішене рекурентною нейронною мережею (РНМ), яка реалізує зворотні зв'язки з виходів внутрішніх нейронів, що дозволяє у розглянутому випадку врахувати передісторію зміни станів основних КВ і накопичити додаткову інформацію [9].

При цьому стан ШОС визначається через коригування відношення суми добутків квадратів кількості закорочених листів Δ^2 на об'єм V_i відповідної пошкодженої ділянки для закорочувань відносно загального об'єму V осердя, враховуваного при уточненні втрат $P_{\mu li}$ на цих ділянках через перерахунок відповідного коефіцієнту втрат α та безпосередньо з експериментально-нормувальної функції $P_{\mu 2}(k_{st})$ для втрат у сталі залежно від еквівалентного коефіцієнта k_{st} заповнення осердя сталлю, що враховує наявність повітряних проміжків у випадку різного ступеня послаблень пресування.

Використовувана РНМ може містити менше число параметрів у порівнянні з багатопараметровою перцептронною мережею, яка виконує аналогічне завдання. Алгоритм навчання РНМ, що адаптує значення синаптичних ваг, більш складний внаслідок залежності сигналів в поточний момент часу від їх значень в попередні моменти і відповідно з огляду на більш громіздкою формули для розрахунку вектору градієнта. Крім того, через наявність зворотних зв'язків необхідно досліджувати питання стійкості мережі [9].

У процесі проведення досліджень визначено, що для РНМ доцільно використовувати в якості функції активації гіперболічний тангенс (hyperbolic tangent, tanh). Ця функція приймає на вході довільне дійсне число, а на виході дає дійсне число в інтервалі від -1 до 1. Подібно сигмоїду, гіперболічний тангенс може насичуватися. Однак, на відміну від сигмоїду, вихід даної функції центровано відносно нуля

$$F(inp) = \frac{e^{2 \cdot inp} - 1}{e^{2 \cdot inp} + 1}$$

Зазначене апробовано у складі структури РНМ Елмана, яка була реалізована в [10] за допомогою виклику `newelm()` та визначала стан основних КВ СД на основі визначених ознак, для чого при організації обчислень було створено скрипт-файл, використовуваний для апроксимації даних. Результати обчислення помилки у ході навчання сформували вектор для відповідних станів $E = [0,48\% \ 0,40\% \ 0,12\% \ 9,47\% \ 2,28\%]$. При цьому середня похибка склала 2,55 %.

ВИСНОВКИ. 1. Досліджуваний спосіб локального тестування слід проводити при високому ступені насичення сталі, при якому інформативними є понад 10-12 незалежних параметрів.

2. Виявлено залежність поведінки досліджуваних діагностичних параметрів при зміні величини повітряного проміжку між індуктором і досліджуваною поверхнею шихтованого осердя, що підтверджує підвищення чутливості діагностичних параметрів при безконтактному способі діагностики.

3. Експериментально перевірено та визначено основні умови локального тестування (ступень насичення магнітної системи, що визначає рівень напруги

живлення, діапазон зміни її частоти, відстань від поверхні індуктора до зубців статора), уточнено необхідний набір діагностичних параметрів, що дозволяють з припустимою вірогідністю визначати основні види пошкоджень магнітної системи та доведено ефективність розроблених заходів у плані визначення місця розташування поверхневих та глибинних дефектів шихтованих осердь.

4. Обумовлено можливість ідентифікації стану основних конструктивних вузлів СД з урахуванням стану шихтованих осердь статорів.

5. Розроблена структура рекурентної нейронної мережі, що дозволяє прогнозувати наявність типових дефектів КВ і визначати їх стан та стан СД, із кількістю нейронів вхідного та контекстного шарів, кратною кількості інформативних параметрів, враховуваних в прогнозі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Луговой А. В., Максимов М. Н., Родькин Д. И. и др. Эксплуатационная надежность электрических двигателей переменного тока и пути ее повышения. *Мат. сем. "Проблемы промышленного энергосбережения"*, Кременчуг, КПИ, 1998. 15 с.
2. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения.
3. Прус В. В., Дегтяренко О. О., Сьомка О. О. Уточнення стану магнітних систем синхронних машин шляхом відеоідентифікації поверхні зубців. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал*. Кременчук: КрНУ. 2020. Вип. 3/2020 (51). С. 34–39.
4. Прус В. В. Діагностика електротехнічної сталі статорів та паспортизація асинхронних двигунів в процесі ремонту: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.09.01. Національна академія наук України, Інститут електродинаміки. К. 2003. 19 с.
5. Родькин Д. И. Составляющие мгновенной мощности при полигармонических напряжениях и токе. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ*. Кременчук: КДПУ. 2003. Вип. 2/2003 (19). С. 111–115.
6. Дьяконов В. П. *Mathcad 11/12/13 в математике. Справочник*. М.: Горячая Линия – Телеком. 2007. 958 с.
7. Талалаев А. А., Тищенко И. П., Фраленко В. П., Хачумов В. М. Анализ эффективности применения искусственных нейронных сетей для решения задач распознавания, сжатия и прогнозирования. *Искусственный интеллект и принятие решений*. № 2. 2008. С. 24–33.
8. Буйко А. Ю., Виноградов А. Н. Выявление действий на видео с помощью рекуррентных нейронных сетей. *Программные системы: теория и приложения*. №4(35). 2017. С. 327–345.
9. Рекуррентные нейронные сети в качестве моделей нелинейных динамических систем. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.dspsa.ru/articles/year2018/jour18_1/art18_1_3.pdf.
10. *MATLAB, Simulink. User Guide*. Mathworks. Realize 2015. 674 p.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF DIAGNOSTICS OF LAMINATED CORES AND DETERMINING THE CURRENT STATE OF SYNCHRONOUS MOTORS

V. Prus¹, O. Dehtiarenko², I. Konokh¹, V. Dziuban¹

¹Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

²PJSC "Azovstal iron & steel works"

ORCID: 0000-0002-2203-6878; 0000-0003-3753-1289; 0000-0001-5930-1957; 0000-0002-5021-4328

Topicality. Today a large number of synchronous motors with long mean-time-between-failures operate under the conditions of industrial enterprises. They are mainly characterized by difference from the published electromagnetic parameters and degraded energy and reliability indicators, increased heating of the windings and electromagnetic vibrations, which causes a reduction in power on the shaft. Among other reasons, this is due to changes in the properties of laminated stator cores, which is the main structural element that is not replaced during repairs. **Purpose.** Determination of the main set of independent diagnostic parameters that would reliably distinguish the main types of defects of stator cores, first of all loosening and shorting, during their local testing using induction method and features of artificial neural networks in problems of video identification of core surface and determination of the state of synchronous motors. **Methodology.** The research methods of theoretical calculations of nonlinear electric circuits with non-sinusoidal power supply and methods of video identification for determination of diagnostic parameters and defects of laminated cores and the theory of neural networks in determining the current state of cores and synchronous motors in general were used during the research. **Results.** The obtained results specify the conditions of local testing of laminated cores from the standpoint of determining the required set of diagnostic parameters sensitive to the main types of defects, using a contactless test method, reveal the features of the use of neural network analyzers to determine the defects of the tooth zone by video identification and substantiate the principles of application of artificial neural networks in problems of predicting the states of major structural units and synchronous motors in general, due to changing properties of stator cores. **Originality.** The obtained results allow determining the state of the stator core and taking into account the influence of its change on the current state of synchronous motors with long or intensive operation. **Practical value.** The research results make it possible to assess the changes in the main parameters and characteristics of synchronous motors, determined by the actual state of the laminated stator cores and take into account their impact on energy efficiency, reliability and other operating parameters of synchronous motors. References 10, figures 7.

Key words: synchronous motor, structural unit, stator laminated core, defect, local testing, diagnostic parameter, artificial neural network.

REFERENCES

- Lugovoi, A. V., Maksimov, M. N., Rodkin, D. Y. et al. Ekspluatatsionnaya nadezhnost' elektricheskikh dvigatelej peremennogo toka i puti ee povysheniya [Operational reliability of AC electric motors and ways to improve it]. *Math. work. "Problems of industrial energy saving"*, Kremenchug, KSPI, 1998. 15 p. [in Russian]
- GOST 20911-89. Technical diagnostics. Terms and definitions.
- Prus, V. V., Dehtiarenko, O. O., Somka, O. O. (2020). Utochnennia stanu mahnitnykh system synkhronnykh mashyn shliakhom videoidentyfikatsii poverkhni zubtsiv [Clarification of the state of magnetic systems of synchronous machines by video identification of the tooth surface]. *Electromechanical and energy saving systems. Quarterly research and production journal*. Kremenchuk: KrNU. Iss. 3/(51). P. 34–39.
- Prus, V. V. (2003). Diagnostics of electrical steel of stators and certification of induction motors in the process of repair: Author's ref. of PhD (Eng.) thesis.: 05.09.01. National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Electrodynamics. Kyiv. 19 p.
- Rodkin, D. Y. (2003). Sostavlyayushchie mgnovennoj moshchnosti pri poligar-monicheskikh napryazhenii i toke [Instantaneous power components at polyharmonic voltage and current]. *Bulletin of Kremenchuk State Polytechnic University: Research papers of KSPU*. Kremenchuk: KSPU. Iss. 2/(19). P. 111–115. [in Russian]
- Diakonov, V. P. (2007). *Mathcad 11/12/13 in Mathematics. Reference book*. M.: Hot line – Telecom.
- Talalaiev, A. A., Tishchenko, I. P., Fralenko, V. P., Khachumov, V. M. (2008). Analiz effektivnosti primeneniya iskusstvennykh nejronnykh setej dlya resheniya zadach raspoznavaniya, szhatiya i prognozirovaniya [Analysis of the effectiveness of using artificial neural networks for solving problems of recognition, compression and forecasting]. *Artificial intelligence and decision making*. No. 2. P. 24–33. [in Russian]
- Buiko, A. Yu., Vinogradov, A. N. (2017). Vyyavlenie dejstvij na video s pomoshch'yu rekurrentnykh nejronnykh setej [Revealing video actions using recurrent neural networks]. *Software systems: theory and applications*. No. 4(35). P. 327–345. [in Russian]
- Recurrent neural networks as models of nonlinear dynamic systems. [Electronic resource]. Access mode: http://www.dspa.ru/articles/year2018/jour18_1/art18_1_3.pdf.
- MATLAB, Simulink. *User Guide*. (2015). Mathworks. Realize 2015. 674 p.

Стаття надійшла 26.04.2021.