



УКРАЇНА

(19) UA (11) 62491 (13) A

(51) 7 G01R31/34, G01R33/14, H02K15/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДВИДАЄТЬСЯ ПІД
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ
ВЛАСНИКА
ПАТЕНТУ(54) СПОСІБ ДІАГНОСТИКИ ЗУБЦЕВОЇ ЗОНИ ПАКЕТІВ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЇ СТАЛІ ЕЛЕКТРИЧНИХ
МАШИН

1

(21) 2003042863

(22) 02 04 2003

(24) 15 12 2003

(46) 15 12 2003, Бюл. № 12, 2003 р

(72) Прус В'ячеслав В'ячеславович, Родькин Дмитро
Йосипович, Войтех Олександр Арсенійович,
Петров Роман Миколайович(73) КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(57) 1 Спосіб діагностики зубцевої зони пакетів електротехнічної сталі електричних машин, що полягає в вимірюванні магнітної індукції і втрат у сталі в контролюваній дефектній зоні, за допомогою індуктора з ізольованими обмоткою, що намагнічує, та вимірювальною обмоткою, та визначенні інформативних параметрів для різних видів ушкоджень сталі, який відрізняється тим, що тестування сталі здійснюють шляхом контролю значень напруги та струму на виводах обмотки, що намагнічує, та напруги на вимірювальній обмотці індуктора при його поступовому переміщенні по всій довжині зубця, а також по двох суміжних зубцях для 4-5 значень напруги живлення обмотки, що намагнічує, в кожній точці, що аналізується, розрахунковим шляхом визначають значення втрат та магнітну індукцію в сталі, оцінюють ступінь її насичення, за значеннями потужності втрат і індукції визначають їх середні та граничні значення в зубцях, що тестуються, за ознаками дефектів, що полягають в значному прирості струму I_1 на недостатньо стиснутих ділянках, при співпаданні ознак суттєвого зниження магнітної індукції B_m зі зниженням втрат у сталі для недостатньо стиснутих ділянок і меншого зниження магнітної індукції B_m з великим приростом втрат для закорочених ділянок, при зниженні коефіцієнта гармонік у кривій струму обмотки, що намагнічує, на недостатньо стиснутих ділянках щодо нормального поряд з його значним підвищенням на закорочених, визначають закорочені ділянки сталі на кромках зубців і в пакеті, на основі отриманих даних роблять висновки про придатність пакету для подальшого використання, про припустиму потужність електричної машини при заданих часі напруження на відмову й режимі роботи

2

2 Пристрій для діагностики зубцевої зони пакетів електротехнічної сталі електричних машин, що включає джерело живлення мережевої частоти, датчик індукторного типу з обмоткою, що намагнічує, та вимірювальною обмоткою, датчики напруги на обмотці, що намагнічує, та на вимірювальній обмотці, датчик струму в колі обмотки, що намагнічує, який відрізняється тим, що до його складу додатково включено трансформатор з регульованим коефіцієнтом трансформації, автотрансформатор з чотирма відпайками та електронними ключами на виході, вимірювально-керуючий комплекс, оснащений аналогово-цифровим перетворювачем, комутатором з п'ятьма входами, цифро-аналоговим перетворювачем з п'ятьма виходами, обчислювальним блоком та принтером, причому трансформатор з регульованим коефіцієнтом трансформації через комутуючий апарат підключено до мережі живлення, вторинну обмотку трансформатора підключено до автотрансформатора з чотирма відпайками, поєднаного через електронні комутатори з первинною обмоткою індукторного датчика, виходи датчиків напруги та струму зв'язані відповідно з 1-5 входами комутатора на вході аналогово-цифрового перетворювача, п'ять керуючих виходів цифро-аналогового перетворювача пов'язано з кодами керування комутатора на вході трансформатора електроживлення та електронних ключів, з'єднаних з відпайками автотрансформатора, причому керування ключами реалізується програмним шляхом за допомогою ЕОМ

3 Пристрій за п 2, який відрізняється тим, що, з метою спрощення, його оснащено однофазним регульованим по частоті та напрузі перетворювачем частоти з синусоїдальним виходом, причому керування перетворювачем частоти забезпечує задане число (наприклад - чотири) рівнів напруги живлення на вході обмоток, що намагнічують, складного індуктора для діагностики сталі, крім того, інтервал частот живлення індуктора встановлюється нижчим від межі проявлення ефекту витиснення струму в провідниках

(13) A

(11) 62491

(19) UA

Винахід відноситься до електротехніки, а саме до визначення електричних та магнітних параметрів магнітних кіл при змінному перемагнічуванні і може бути використаним при діагностиці статорів і роторів електричних машин змінного струму як спеціального, так і загальнопромислового призначення, а також довільних пакетів сталі зубчастої форми.

Відомий спосіб випробування пакетів сталі статорів з метою визначення питомих втрат [Петриков Л.В., Корначенко Г.Н. Асинхронные электродвигатели. Обмоточные данные. Ремонт. Модернизация / Справочник — М: Энергоатомиздат, 2000 — с. 122-127], згідно з яким перевищення питомих втрат визначають, наносячи на пакет статора обмотку, що намагнічує і вимірювальну обмотку. За допомогою першої в спинці пакету статора утворюють змінний магнітний потік з індукцією $B=1\text{Т}$ при частоті 50Гц, при якому вимірюють питомі втрати. Отримані значення порівнюють з нормативними, за результатами чого роблять висновки про стан сталі пакету.

Основним недоліком способу визначення питомих втрат є низька інформативність, так як знання середніх питомих втрат не дозволяє визначати зони локальних перегрівів в пакеті сталі. При даному способі діагностування пакет сталі статора випробується в умовах, що не відповідають робочим за рівнем магнітного навантаження, так як магнітний потік, що наводиться, фактично не замикається по верхніх частинах найбільш пошкодженої сталі зубців. До недоліків способу слід віднести і велику потужність джерела живлення, що працює з низькими ККД і коефіцієнтом потужності, значну витрату обмотувальних матеріалів, необхідність трудомісткого процесу укладання обмотки.

Відомий спосіб діагностики, при якому питомі втрати визначаються локально [Анемподистов В.П., Белонин В.К., Дегусаров Ю.А. и др. Выявление местных нагревов сердечников статора // Электротехника - 1982 - №10 - С. 62-63]. Даний спосіб полягає в діагностуванні пакетів сталі статора в області зубців за допомогою індуктора з нанесеними обмоткою, що намагнічує і вимірювальною обмоткою. Це дозволяє визначити зони з рівнем питомих втрат у сталі, що перевищує припустимий.

До недоліків цього способу слід віднести неможливість діагностики властивостей сталі в реальному робочому режимі двигуна через необхідність досягнення істотних величин магнітної індукції (до 1,5-2Т),

кінцеву кількість точок діагностики, високу похибку вимірювань втрат у сталі при її насиченні,

недостатню чутливість способу, обумовлену значними розмірами індуктора, що не дозволяє в підсумку точно визначати розміри пошкоджених ділянок пакету,

відсутність критеріїв розрізнення основних видів пошкодження сталі осердя, що не дозволяє коректно виконати детальний тепловий розрахунок максимуму нагрівання ізоляції обмотки статора,

відсутність контролю магнітної індукції в досліджуваній ділянці пакета сталі, що не дозволяє до-

стовірно судити про зміну її магнітних властивостей.

Даний спосіб є прототипом, тому що має загальні істотні ознаки з запропонованим технічним рішенням.

Мета винаходу — зменшення похибки вимірювання контрольованих параметрів у зоні насичення (1,5-2Т), підвищення вірогідності розрізнення основних видів пошкодження пакетів активної сталі статора або ротора в умовах, що відповідають робочому режиму для електродвигунів змінного струму.

Перелік фігур винаходу

Фіг. 1 Діагностика пакета по двох зубцях

Фіг. 2 Діагностика пакета по одному зубцю

Фіг. 3 Алгоритм діагностики

Фіг. 4 Блок-схема пристрою для реалізації способу діагностики зубцевої зони пакетів електротехнічної сталі електричних машин.

Спосіб діагностики відрізняється тим, що властивості сталі визначаються не на кінцевому числі ділянок, а безперервно по довжині всіх зубців пакету, одночасно, як по двох сусідніх зубцях при замиканні магнітного потоку через ярмо осердя в умовах, що відповідають робочому режиму електричної машини по інтенсивності і спрямованості магнітного потоку в зубцях осердя статора (фіг. 1), так і по кожному з зубців (фіг. 2) при середній інтенсивності магнітного потоку ($B=1,0 \dots 1,2\text{Т}$). Це дозволяє, поряд з вимірюванням втрат у сталі і величини магнітної індукції на досліджуваній ділянці в робочому режимі, визначати точне місце розташування і характер пошкодження електротехнічної сталі верхніх частин зубців пакету сталі.

В результаті, відповідно до діагностичних критеріїв розрізнення основних видів пошкоджень сталі, може бути отримана реальна картина точного місцезрештешування і розмірів пошкоджених ділянок. Так як виміри проводяться в зоні насичення, з метою підвищення точності відображення несинусоїдальних величин, їх значення знаходять за допомогою методів гармонійного аналізу.

Процес діагностики здійснюється за таким способом.

Відповідно до необхідного значення магнітної індукції визначається значення напруги на виводах обмотки, що намагнічує, $U_{\text{лнд}}$ індуктора.

складений індуктор установлюється на досліджуваній ділянці, проводиться процес зняття й обробки експериментальних даних.

При цьому контролюються миттєві значення струмів в обмотках, що намагнічують I_1 , напруга на виводах джерела живлення u_1 і вимірювальних обмоток u_2 , протягом 4-5 періодів промислової частоти.

При діагностиці по двох зубцях споживаний струм I_{11} , на кожній з ділянок досліджуваного пакету сталі статора різний. Тому вимірювання інформативних параметрів (B_m , I_1 , P_c) проводяться при значеннях напруги на затискачах обмотки, що намагнічує, $U_{1\text{до}} = (0,9 \div 1,1) \cdot U_{\text{лнд}}$ із кроком $0,05U_{\text{лнд}}$.

Обробка експериментальних даних здійснюється на основі наступних співвідношень:

При синусоїдальних u_2 і i_1

$$P_{c(B1)} = U_2 I_1 \cos \varphi - P'_{c(B2)}, (1)$$

$$\text{де } B_2 = \frac{B_1 \cdot S_1}{S_2},$$

B_1 - значення магнітної індукції в зубцях пакету,

S_1 - площа перетину ділянки пакету, що діагностується,

S_2 - площа перетину індуктора,

$P'_{c(B2)}$ - втрати в індукторі при $B=B_2$

При несинусоїдальній u_2 і синусоїдальному i_1 також діє вираз (1)

При несинусоїдальних u_2 і i_1

$$P_{c(B1)} = U_2 I_{10} + \sum_{k=1}^{\infty} U_{2k} I_{1k} \cos \varphi_k - \sum_{k=1}^{\infty} P'_{ck(B2)}, (2)$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} P'_{ck(B2)} = P'_{c1(B2')} + P'_{c2(B2'')} + \dots + P'_{ck(B2^k)}, (3)$$

де $P'_{c1(B2')}$, $P'_{ck(B2^k)}$ - втрати по гармоніках при

значеннях індукції відповідно B_2' , B_2^k

Значення магнітної індукції в усіх випадках визначається зі співвідношення

$$B_m = \frac{U_{2cp}}{4fW_b S}, (4)$$

$$\text{де } U_{2cp} = \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} u_2 dt - \text{середнє напівперіодне}$$

значення напруги u_2 ,

f - частота мережі,

W_b - число витків вимірювальної обмотки індуктора,

S - площа перетину досліджуваної ділянки зубця пакету сталі

Втрати в індукторі $P'_{c(B2)}$ визначаються з апроксимуючої залежності $P'_c = f(B)$, що знімається для сталі застосовуваного індуктора на замкненому магнітному колі з урахуванням вимог до його типорозмірів

Даний пункт виконується для всього пакету сталі з кроком, обумовленим розміром індуктора

Коректування отриманих результатів проводиться в наступному порядку. Визначається середнє значення струму I_{1cp} , що намагнічує, зі співвідношення

$$I_{1cp} = \frac{\sum_{i=1}^N I_{1i}}{N}, (5)$$

де N - загальне число точок діагностування

Апроксимуються залежності $B_m = f(I_1)$ й $P_c = f(I_1, B_m)$ і коригується на значення I_{1cp} величина індукції B_m , а з урахуванням цього - і значення P_{c1}

Якщо в досліджуваній зоні залежності носять лінійний характер, з метою спрощення для коригування значень магнітної індукції і втрат у сталі використовуються вирази

$$B_{mic} = B_m = \frac{I_{1cp}}{I_{1i}}, \quad P_{cci} = P_{ci} \cdot \frac{I_{1cp} \cdot B_{mic}}{I_{1i} \cdot B_{mi}}, (6)$$

де B_{mic} і P_{cci} - скориговані значення магнітної індукції і втрат у сталі

Основними інформативними величинами при проведенні локальної діагностики пакету сталі по двох сусідніх зубцях є величини B_m і P_{c1} , середні значення яких отримуються зі співвідношень

$$B_{mcp} = \frac{\sum_{i=1}^N B_{mic}}{N}, \quad P_{ccp} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{cci}}{N} \quad (7)$$

Отримані значення можуть бути використаними для відбраковування пакетів сталі, а також у методиках прогнозування нових паспортних даних електричних машин з відомим станом електротехнічної сталі, а дані по нерівномірності розподілу властивостей сталі пакетів - в методиках розрахунку локальних перегрівів і магнітної несиметрії електричної машини

З метою розрізнення видів пошкоджень, крім значень магнітної індукції B_m і втрат у сталі P_c необхідно визначати

для діагностики по двох зубцях

коефіцієнти гармонік струму $i_1(t)$ і напруги $u_2(t)$

$$k_{r11} = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^p I_{1v}^2}}{I_{11}}, (8)$$

$$k_{rU2} = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^p U_{2v}^2}}{U_{21}}, (9)$$

для діагностики по одному зубцю (крім зазначеного вище)

повний магнітний опір ланцюга

$$Z_m = \frac{I_1 \cdot W_b}{B_m \cdot S}, (10)$$

де W_b - число витків обмотки, що намагнічує,

S - площа перетину зубця індуктора,

B_m - амплітуда магнітної індукції,

$R_{\mu 1}$ - активний опір контуру, що намагнічує, по першій гармоніці

$$R_{\mu 1} = \frac{U_{2m1} \cdot \cos(\varphi U_{21} - \varphi I_{11})}{I_{1m1}}, (11)$$

де U_{2m1} , I_{1m1} і φU_{21} , φI_{11} - відповідно амплітуди і фази перших гармонік U_2 і I_1 , отримані в результаті розкладання кривих даних величин у ряд Фур'є

Характерні дефекти осердя (закорочування і розпушення, зниження тиску запресування листів) розрізняють за наступними критеріями

При тестуванні по двох зубцях

значний приріст струму I_1 на розпушених ділянках внаслідок зниження магнітного опору кола,

співпадання ознак більш значного зниження магнітної індукції B_m зі зниженням втрат у сталі для розпушених ділянок і меншого зниження магнітної індукції B_m з великим приростом утрат для закорочених ділянок,

значне зниження коефіцієнта гармонік у кривій струму обмотки, що намагнічує, на розпушених

ділянках щодо нормального поряд з його значним підвищенням на закорочених ділянках

При тестуванні по одному зубцю спостерігається та ж картина, а зміна повного магнітного опору ланцюга визначається зміною величин струму I_1 і напруги U_2 , і є більш інформативною ознакою відповідно до виразу (10). Зміна активного опору контуру, що намагнічує, по першій гармоніці визначається зміною втрат у сталі P_c і струму I_1 , що намагнічує, по першій гармоніці.

Відрізати розпушені чи послаблені ділянки можна по більш значному падінню магнітної індукції (відносні зміни в 1,5-3 рази щодо індукції закорочених ділянок), зростанню втрат у сталі (відносні зміни в 1,5-2 рази вище змін для закорочених ділянок), зміні коефіцієнта гармонік кривої струму (зменшення на розпушених ділянках і збільшення на закорочених). Точкою відліку для всіх перерахованих величин є їх значення, отримані для сталі встановленого типу, і попередньо зняті для всього розглянутого діапазону їх зміни.

Так як всі перераховані вище інформативні параметри змінюються в різну сторону щодо їх значень на нормальній ділянці, діагностичні критерії формуються у вигляді

$$X \geq X_{\text{норм}} + \Delta X \text{ і } X \leq X_{\text{норм}} - \Delta X, (12)$$

де X - параметр, що розглядається, $X_{\text{норм}}$ - значення цього параметра на досліджуваній ділянці, ΔX - нижня межа зони чутливості.

Додатково підвищити вірогідність діагностики можна, задаючи різну вагу критеріїв (більшу для критеріїв, похибка визначення яких не виходить за межі нижньої межі зони чутливості).

Блок-схему пристрою для реалізації наведеного способу діагностики зубцевої зони пакетів електротехнічної сталі зображено на фіг. 4.

На фіг. 4 позначено

1 - пакет електротехнічної сталі, що тестується,

2, 3 - індуктори для тестування пакету сталі по одному та двох зубцях відповідно,

4 - регулятор напруги,

5, 7-10 - апарати, що комутують (5 - апарат з механічним розчіплювачем, 7-10 - симісторні ключі),

6 - автотрансформатор з чотирма відпайками,

11 - датчик напруги на вході обмотки, що намагнічує,

12, 14 - датчики струмів в обмотках, що намагнічують, індукторів 2 і 3 відповідно,

13 - обмежувач опір обмотки, що намагнічує, індуктора 3,

15, 16 - датчики напруг на вимірювальних обмотках індукторів 2 і 3 відповідно,

17 - комутатор аналогових сигналів,

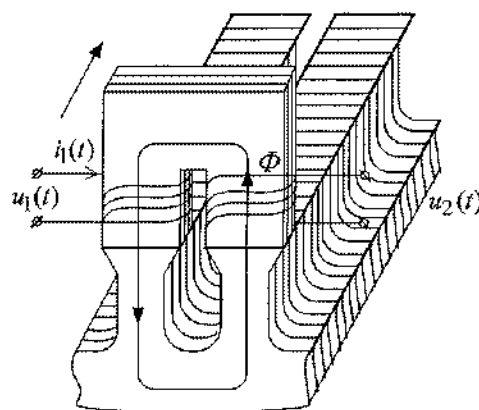
18 - аналогово-цифровий перетворювач (АЦП),

19 - електронно-обчислювальна машина (ЕОМ),

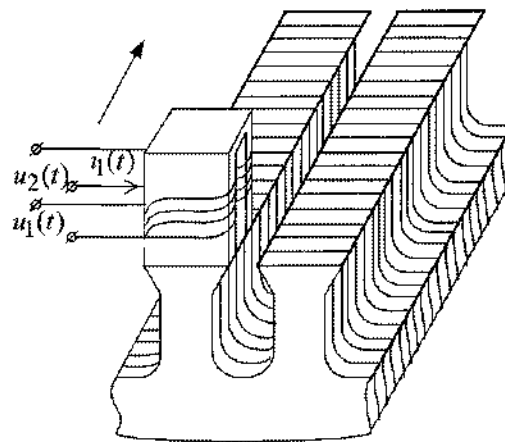
20 - цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП),

21 - принтер.

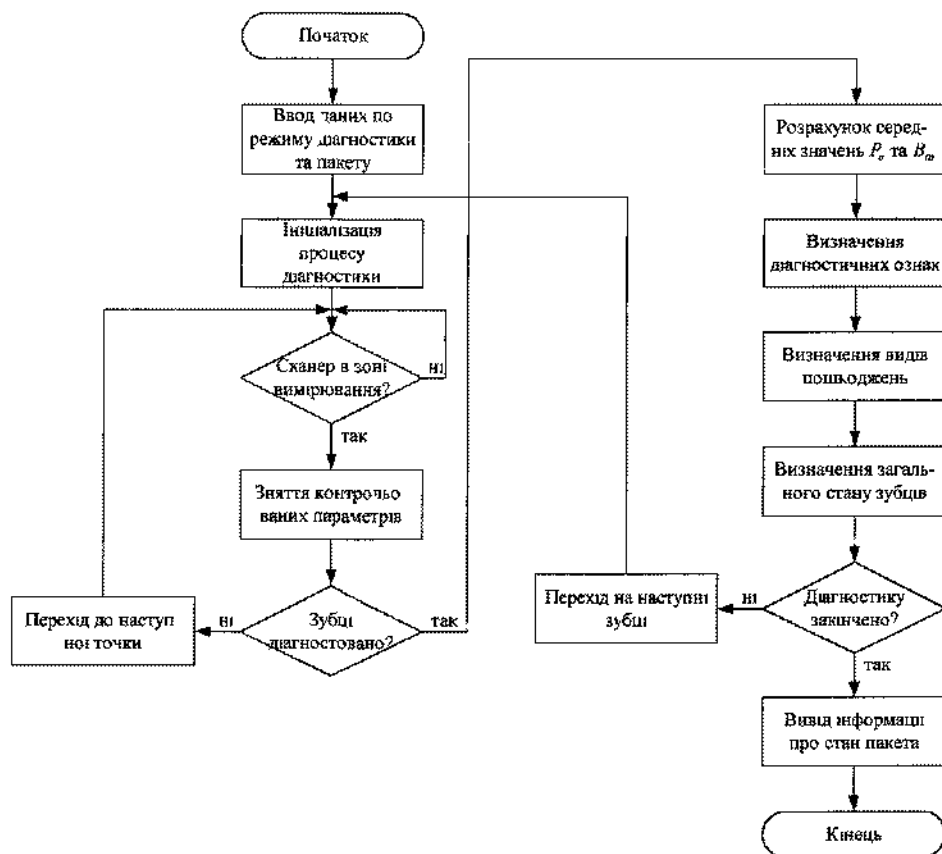
Пакет сталі 1 тестується за допомогою складеного індуктора, що складається з індукторів 2 і 3. Живлення пристрою здійснюється апаратом 5. Після цього за допомогою регулятора напруги встановлюється її необхідний рівень на вході автотрансформатора 4. Шляхом комутації секцій автотрансформатора 4 за допомогою симісторних ключів 7-10, що керуються за допомогою ЦАП 20, на вході обмоток, що намагнічують, індукторів 2 і 3 подається один з необхідних рівнів входної напруги. Опір 13 потрібний для обмеження величини струму в первинній обмотці індуктора 2. При вибраному рівні входної напруги $u_1(t)$ вимірюється масив значень для струмів в обмотках, що намагнічують $i_1(t)$ та напруг на вимірювальних обмотках $u_2(t)$ індукторів 2 і 3 за допомогою датчиків 12, 14, 15, 16. Опитування датчиків послідовне, що реалізується за допомогою комутатора 17. Після перетворення в АЦП 18 дані для кожної з величин записуються і обробляються ЕОМ 19, встановлюється наступний рівень входної напруги і процес тестування повторюється. Після зняття всіх даних для поточної точки діагностики індуктор встановлюється в наступну точку і так доти, доки не буде пройдено весь пакет сталі довжиною L по всіх зубцях. Після обробки результатів діагностики робляться необхідні висновки про доцільність використання даного пакету сталі та оцінюється вплив стану сталі на нові паспортні дані двигунів. Результати діагностики в разі потреби виводяться на принтер 21.



Фіг. 1 Діагностика пакета по двох зубцях



Фіг. 2 Діагностика пакета по одному зубцю



Фіг. 3 Алгоритм діагностики

