



ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ МЕТОД ІНТЕГРАЛЬНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ РОЗПРЕСУВАННЯ ПРИ ВСТАНОВЛЕННІ ДУГОПОДІБНИХ ДАТЧИКІВ КОНТРОЛЮ В СЕРЕДИНІ ШИХТОВАНОГО ОСЕРДЯ СТАТОРА ТУРБО- І ГІДРОГЕНЕРАТОРІВ

На фізичній моделі досліджено і за результатами досліджень вдосконалено метод електромагнітної діагностики стану пресування шихтованого осердя статора турбо- і гідрогенератора, оснований на застосуванні вимірювальних контурних витків в середині осердя. В результаті моделювання встановлено, що при наявності розпресування існує оптимальне місце встановлення інформаційних датчиків, а також підтверджено, що чутливість діагностичних параметрів вища, коли датчики розміщено в середині осердя статора.

К л ю ч о в і с л о в а: електромагнітна діагностика, шихтоване осердя статора, діагностичні параметри, локальне розпресування.

Розпресування шихтованого осердя статора турбогенераторів, особливо його крайніх пакетів, досить часто виникає в процесі експлуатації, незважаючи на низку рішень щодо вдосконалення конструктивного їх виконання, зокрема, запікання склеєних пакетів. Розпресування виникає як внаслідок появи дефектів в системі кріплення шихтованого осердя, так і в змінних режимах експлуатації, при неповному навантаженні, при його скиданні, коли цілісність осердя знижується за рахунок термомеханічних процесів, різних температур охолодження. Розпресування, в свою чергу, призводить до досить небажаних дефектів – "пожежі заліза", підвищення вібрації, механічних пошкоджень елементів осердя і системи його кріплення. Є багато методів експлуатаційного контролю стану шихтованого осердя [1–4]. Але вони повільно впроваджуються, так як для забезпечення високої чутливості до зміни стану і достовірності даних методів необхідно встановлювати багато датчиків.

Найбільш перспективними є методи електромагнітної діагностики. Але їх необхідно розвивати в результаті досліджень електромагнітних процесів у напрямку визначення нових діагностичних параметрів високої чутливості при наявності дефектів пресування осердя статора машин.

В роботі [5] запропоновано метод електромагнітного інтегрального діагностування стану пресованого осердя статора турбогенератора (ТГ), перевагою якого є при мінімальній кількості датчиків контроль пресування на всій боковій поверхні крайніх пакетів великої кількості діагностичних параметрів.

Метою даної роботи є вдосконалення розробленого електромагнітного методу ідентифікації розпресування осердя статора ТГ, оснований на застосуванні вимірювальних контурних витків в середині осердя.

Нагадаємо [5], що електромагнітний метод ідентифікації розпресування осердя статора полягає в тому, що по колу встановлюються витки у вигляді дуг в кількості більшій, за кількість полюсів ($n \geq 2p$), які охоплюють всю поверхню осердя, замість локальних датчиків, яких треба встановлювати велику кількість. На Рис. 1 для двополусної машини показано чотири витки. Розміри витка та їх кількість визначається місцем встановлення таким чином, щоб наведена у витках електрорушійна сила (ЕРС) без великих похибок могла контролюватись і складала декілька Вольт. А місце встановлення дугоподібних витків визначає величину магнітного потоку, який пронизує витки. Діагностування проводиться на основі аналізу вимірюваних ЕРС.

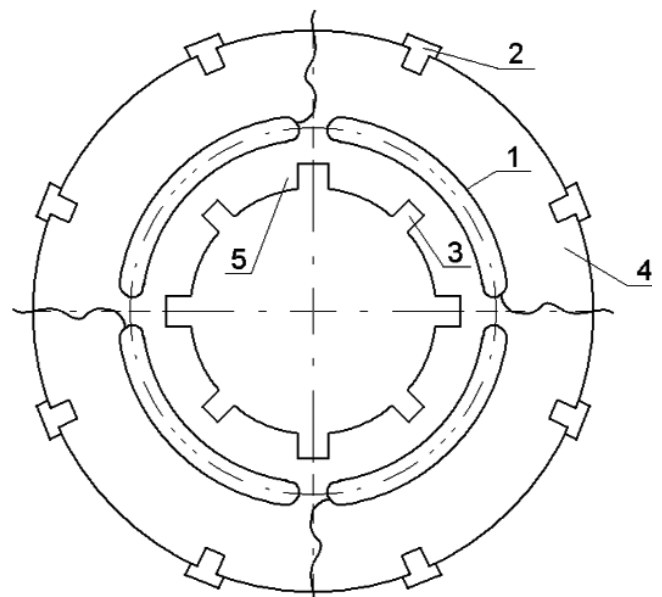


Рис. 1. Приклад встановлення дугоподібних витків ($n = 4$) для вимірювання аксіальної складової індукції магнітного поля в шихтованому осерді статора турбогенератора.
1 - вимірюючі дугоподібні витки; 2 - стягуючі призми; 3 - пази;
4 - спинка магнітопроводу статора; 5 - зубцева зона магнітопроводу



Такий метод контролю стану шихтованого магнітопроводу дозволяє визначити низку діагностичних параметрів. Це, перш за все, діюче значення ЕРС, що наводиться в різних витках. Якщо в одному із витків ЕРС відрізняється від ЕРС, наведеної в інших, то це означає, що в місці установки даного витка спостерігається порушення якості пресування магнітопроводу.

В результаті досліджень запропоновано і ряд інших діагностичних ознак – це постійна розклада в ряд Фур'є, зсув фаз ЕРС, амплітудне значення ЕРС в датчиках, які теж досить чутливі до зміни стану пресування.

Даний метод є простим і технологічним для застосування. Таким чином, можна контролювати наявність нерівномірності затягування стягуючих призм 2 або відкручування гайок, якщо дугоподібні витки встановити в області спинки 4 наближено до призм, відгин окремих натискних пальців, локальне розпушування листів осердь, повне розпресування шихтованого осердя статора (Рис. 1).

Наукове обґрунтування запропонованого методу проводилось на основі експериментальних досліджень на фізичній моделі [6] торцевої зони потужного турбогенератора, основним вузлом якої є трифазна обмотка статора, шихтований магнітопровід, затягнутий болтами, нерухомий магнітопровід ротора для моделювання повітряного зазору, натискні пальці. Фізична модель живиться від автономного джерела в складі двох генераторів постійного та змінного струму, які приводяться до обертання електродвигунами змінного і постійного струму. Джерело живлення дозволяє змінювати частоту та струм в обмотці статора. У фізичній моделі, як і в натурному генераторі, створюється обертове магнітне поле. Експерименти проводились при струмі 100 А в обмотці статора та постійній частоті 425 Гц.

Для вимірювання ЕРС в кожному із витків і підтвердження достовірності результатів використовувались: для вимірювання діючих значень – вольтметр універсальний цифровий В7–35; миттєвих значень – цифровий осцилограф D-S5102С та інформаційно-вимірювальний комплекс на основі комп'ютера і аналогово-цифрового пристрою. Значення ЕРС при різних засобах вимірювань відрізнялись один від одного не більше, ніж на 5 %. Похибка вимірювання цифровим осцилографом не перевищувала 2 %.

Таблиця 1. Діючі значення Е кривої ЕРС в датчиках при різних станах пресування шихтованого магнітопроводу (а – при встановленні датчиків під плитою; б – під 2 листами; в – під 6 листами; г – під 10 листами)

№ вар. експерименту	№ датчика	а – E, мВ	б – E, мВ	в – E, мВ	г – E, мВ
I	1	21,5	30	29	39
	2	20	31	30	37
	3	22,5	32	31	38
	4	24,5	32	29	39
II	1	22,5	34	33	43
	2	20,5	31	31	38
	3	22,5	32	31	38
	4	24,5	33	29	39
III	1	24	46	44	49
	2	22,5	44	43	47
	3	25	49	47	47
	4	27,5	48	48	50
IV	1	26	50	45	52
	2	20,5	33	32	38
	3	22,5	34	32	38
	4	25	32	31	39
V	1	26	49	45	51
	2	20,5	34	32	37
	3	22	33	33	38
	4	24,5	33	32	39
VI	1	26	50	47	51
	2	23	48	45	49
	3	25	49	44	48
	4	27	49	45	50

Проведено низку експериментів на фізичній моделі по виявленню даних про вплив на ЕРС витків при різних їх розміщеннях всередині пакета та при різному ступені розпресування.

Розпресування моделювалось повним ослабленням затягування усіх гайок, локальне розпушування – ослабленням гайок, які розташовано навпроти одного з витків, або виймання окремих натискних пальців. Контролювання зусиль затягування гайок здійснювалось за допомогою динамометричного ключа. Нормальний стан пресування магнітопроводу вважався при затягуванні в 50 Н·м.

Після складання моделі для проведення чергового варіанту експерименту перевірявся стан датчиків та інформаційно-вимірювальної схеми.

Приведемо узагальнену інформацію про результати досліджень для шести варіантів стану пресування магнітопроводу:

- I вар. – умовно нормальний стан пресування;
- II вар. – ослаблено зусилля затягування гайок стяжних призм в області I датчика;
- III вар. – ослаблено зусилля затягування всіх гайок;
- IV вар. – знято декілька натискних пальців в області напроти I датчика при однакових вихідних зусиллях затягування всіх гайок;



V вар. – IV вар. при ослабленні зусиль затягування гайок стяжних призм в області I датчика;

VI вар. – IV вар. при відсутності зусиль затягування всіх гайок.

Експерименти проводились при встановленні датчиків під плитою, 2–10 листами заліза.

В Табл. 1(а, б, в, г) наведено результати досліджень на фізичній моделі для діючого значення ЕРС в датчиках при різних станах пресування шихтованого магнітопроводу.

Діючі значення ЕРС, які строго вимірювались мілівольтметром, корелюють з розрахунковими на основі вимірювань миттєвих значень. Розходження складало декілька відсотків. Повторні експерименти давали розходження такого ж порядку. Це дозволяє говорити щодо надійності і достовірності отриманих результатів. Вони підтверджують, що при наявності як локального розпушування (вар.: II, IV, V, VI (Табл. 1)), так і повного розпресування (вар.: III, VI (Табл. 1)) діючі і амплітудні значення ЕРС змінюються при зміні стану пресування шихтованого магнітопроводу.

Результати досліджень підтверджують, що діагностичні параметри навіть при незначному локальному розпресуванні змінюють свої значення на десятки відсотків, якщо витки розташовано на певній відстані від поверхні осердя, а також, що чутливість цих параметрів вища, коли вимірювальні контурні витки розміщені всередині осердя.

Так, при встановленні датчиків під двома або чотирма листами заліза із Табл. 1 видно, що чутливість їх зростає при повному розпресуванні на 45–50%, а при локальному розпушуванні – на 20–45% (в залежності від різного ступеня розпушування), ніж коли вони знаходяться під плитою. А вже при розміщенні витків під 8–10 листами чутливість знову знижується. Отже встановлено, що існує оптимальне місце їх встановлення. Для кожного типу генератора місце встановлення датчика може змінюватись і його попередньо потрібно визначати.

Досліджений метод діагностування технологічний при застосуванні на практиці, еко-

номічний для впровадження, а його використання не лише запобігає появі ряду дефектів статора, які призводять до відмов генератора, а і буде давати можливість визначати, які режими найбільш небезпечні з точки зору суттєвих відхилень від оптимальних зусиль пресування осердя статора, в т.ч. рівномірних по колу.

Реалізувати його простіше в нових генераторах, розміщуючи вимірювальні контурні датчики всередині запечених пакетів, що забезпечує високий ресурс датчиків контролю.

Висновки. Вдосконалено електромагнітний метод ідентифікації розпресування осердя статора, оснований на застосуванні вимірювальних контурних витків всередині осердя статора турбо- і гідрогенераторів. В результаті моделювання встановлено, що існує оптимальне місце їх встановлення, а також підтверджено, що чутливість діагностичних параметрів вища, коли витки розміщено всередині осердя статора.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пат. 41119А Україна, МПК Н 02 К15/02. Спосіб діагностики пресування шихтованого осердя магнітопроводу / Титко О.І., Томашов Г.В. – № 2001021154; заявл.19.02.2001; опубл. 15.08.2001, Бюл. № 7.
2. А.с. 974509 СССР, МПК5 Н 02 К 15/02. Способ диагностики прессовки шихтованного сердечника магнитопровода / Г.Г. Счастливый, Г.М. Федоренко, В.И. Смородин, А.С. Карацуба, И.А. Ёвтушенко (СРСР). – № 3246602; заявл.12.02.81; опубл. 15.11.82, Бюл. № 42.
3. Титко О.І., Шаломигін М.В., Томашов Г.В. Методичні засоби контролю і діагностики стану пресування шихтованого осердя електричних машин // *Енергетика і електрифікація*. – К., 1999. – № 7. – С. 1 – 3.
4. Титко А.И., Томашов Г.В. Методика расчета электромагнитного поля в крайних пакетах сердечника статора при наличии локальной распрессовки // *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. – К., 2003. – № 2. – С. 73 – 76.
5. Титко В.О. Моделювання електромагнітних сигналів та експериментальне дослідження діагностики шихтованого магнітопроводу статора турбо- і гідрогенераторів // *Гідроенергетика України*, – 2013. – № 3–4. – С. 24 – 27.
6. Постников И.М., Станиславский Л.Я., Счастливый Г.Г. и др. Электромагнитные и тепловые процессы в концевых частях мощных турбогенераторах. – К.: Наук. думка, 1971. – 360 с.

© Титко В.О., 2016

