3) для заданих фізико-хімічних властивостей газу -носія та рідини за виразом (16) визначити коефіцієнт дифузії;

4) за виразом (14) побудувати графік динаміки насичення паро-газової суміші та визначити необхідний для насичення час перебування бульбашки в рідині та глибину занурення барботуючої трубки.

1. Соу С. Гидродинамика многофазних систем / С. Соу. – М.: Мир, 1971. – 533 с. 2. Карслоу Г. Теплопроводность твердых тел / Г. Карслоу, Д. Егер. – М.: Наука, 1964. – 568 с. 3. Никольский Б.П. Справочник химика / Под общ. ред. Никольского Б.П. – Ленинград: Химия, 1971. Т.2. – 1067 с.

УДК 621.313.322-81.004.5:621.311

Я.В. Грень, В.А. Кузик
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автоматизації теплових і хімічних процесів

ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИЦЕВОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЗАМИКАНЬ ЛИСТІВ АКТИВНОЇ СТАЛІ

© Грень Я.В., Кузик В.А., 2011

Наведені результати експериментального дослідження стану осердя статора турбогенератора методом малих індукцій з використанням різницевого спектрального аналізу, описано дослідну установку та вказано переваги обраного методу для ідентифікації місць замикань листів активної сталі.

Ключові слова: активна сталь, діагностування, спектральний аналіз, кореляційна функція.

In this paper we presented the results of experimental investigation of electrical machine stator core by ELCID method with using differential spectral and correlative analysis. Also, here are described the research equipment and specified advantages of this method to identify the locations of active steel sheets faults.

Key words: active stator steel, diagnosis, korelation function.

Постановка проблеми

Експлуатаційна надійність турбогенератора та загальний технічний стан переважно визначаються технічним станом статора. Вихід з ладу статора вимагає високовартісного ремонту або заміни статора. Одним з найважливіших факторів, який визначає технічний стан статора є стан ізоляції листів осердя статора.

Аналіз останніх досліджень

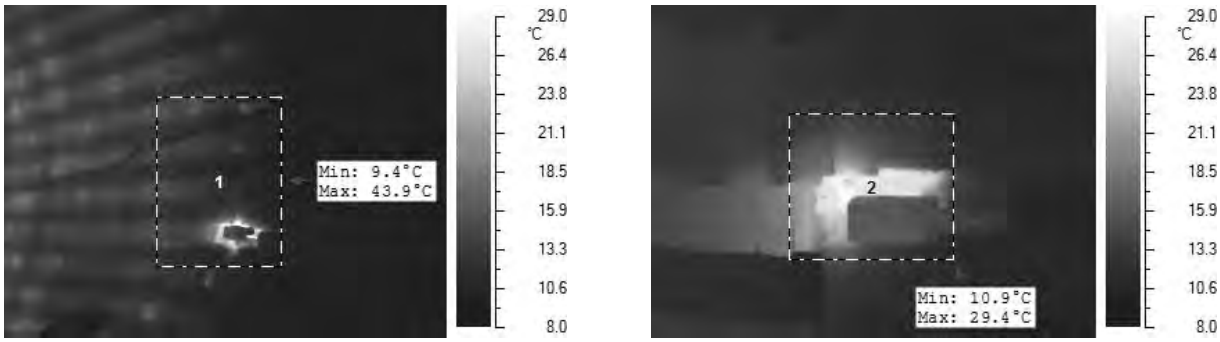
Для діагностування стану міжлистової ізоляції нині найпоширеніший метод кільцевого намагнічування індукцією, близькою до робочої (1-1.4 Тл). Вимірюється температура зубців активної сталі, визначається зміна температури зубця під час нагрівання та різниця температур різних зубців, які відповідно до [1, 2] мають становити:

- максимально допустиме нагрівання зубців 25 ºС (від початкової температури),
- максимально-допустима різниця нагрівання різних зубців 15 ºС.

Температура визначається на дотик. У підозрілих місцях визначають температуру за допомогою термопари або пірометра. Визначити місця перегрівання важко через швидке зниження температури осердя.

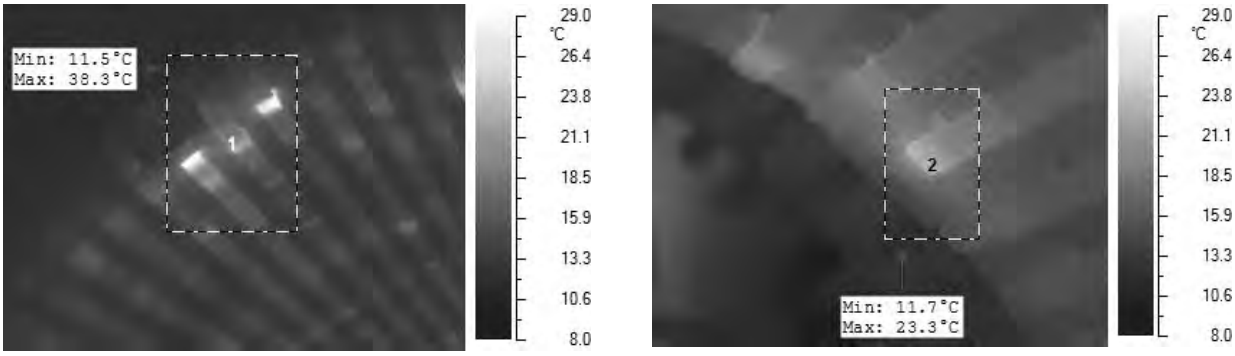
Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Зниження температури після припинення намагнічування показане на рис. 1 та 2: 14.5ºС протягом 5 хв (рис. 1а – 16:12:36 намагнічування триває, рис. 1б – 16:18:08 намагнічування припинене) з боку контактних кілець та 15.2ºС протягом 7 хв (рис. 2а – 16:04:20 намагнічування триває, рис. 2б – 16:20:44 намагнічування припинене) з боку турбіни. Температуру вимірювали за допомогою тепловізора.



а *б*

Рис. 1. Динаміка зміни температури після припинення намагнічування (сторона контактних кілець)



а *б*

Рис. 2. Динаміка зміни температури після припинення намагнічування (сторона турбіни)

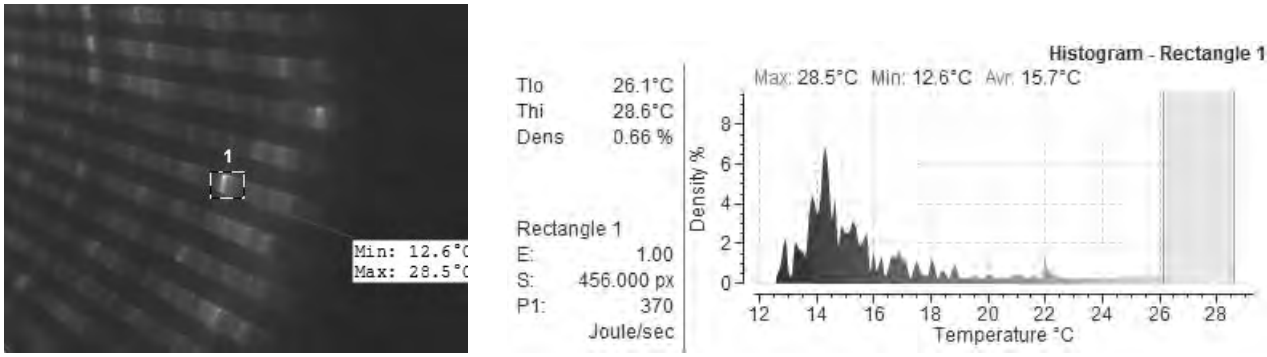
Як видно з рис. 1, 2 вже через 5–7 хв після припинення намагнічування температура знижується до допустимих показників, що унеможливлює правильне оцінювання технічного стану статора.

Зважаючи на площу поверхні розточки статора (для ТГВ-200 понад 20 м^2) та кількість зубів активної сталі (для ТГВ-200 - 5520), виявлення зон локального перегрівання без застосування тепловізійної техніки має випадковий характер. На рис. 3б показаний розподіл температур в частині розточки статора (рис. 3а), площа якої близька до площі зубця. З характеру розподілу, а саме наявний довгий важкий хвіст в області високих температур, можна зробити висновок, що виявити локальне перегрівання під час вимірювання температури в точці (за допомогою термопари або пірометра) можна з ймовірністю 0.66 %. Під час практичних випробувань, у зв’язку з швидким зниженням температури та великою кількістю зубців, вимірювання температури кожного зубця не проводиться, а отже, ймовірність виявлення місць локального перегрівання осердя статора знижується для одного вимірювання і, наприклад, на площі, що обмежена прямокутником (рис. 4а) становить лише 0.01 % (рис. 4б).

У разі замикання між листами сталі, які розташовані в глибині пакета, температура на поверхні зубця може не перевищувати допустимі межі. На рис. 5а зображене нагрівання зубця в крайньому пакеті з боку контактних кілець. Температура на поверхні зубця (пункт С) становить 24.4 ºС. Відповідно, зростання температури – 13.4 ºС та різниця температур в пунктах В і С – 10.7 ºС, що не перевищує допустимі значення. До того ж температура в глибині зубця (можливо

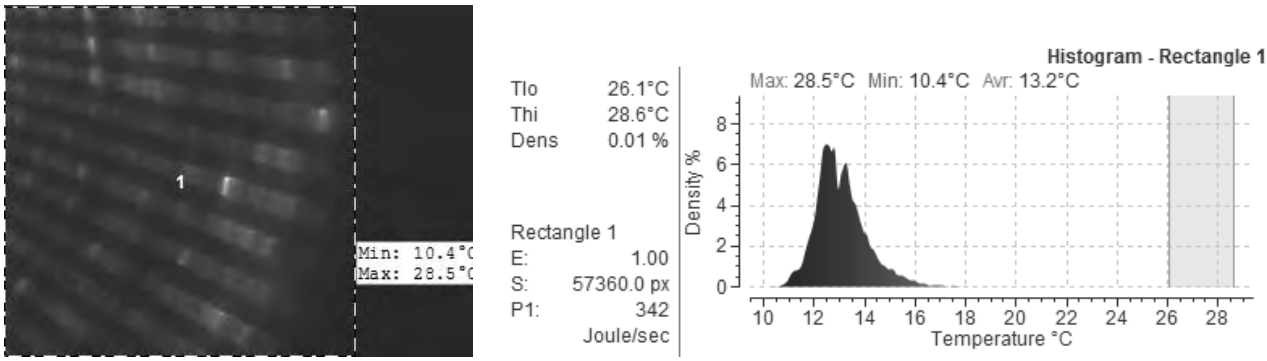
Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

виявити, оскільки пакет крайній) становить 43.9 ºС, зростання та перепад температур відповідно становлять 32.9 ºС та 30.2 ºС, що значно перевищує допустимі межі.



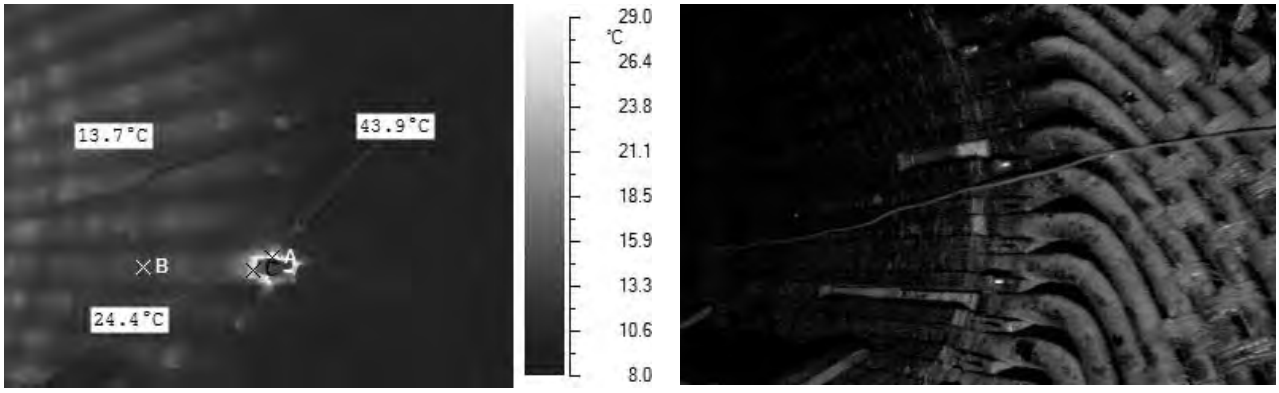
а *б*

Рис. 3. Розподіл температур по поверхні зубця



а *б*

Рис. 4. Розподіл температур по розточці статора



а *б*

Рис. 5. Розподіл температури у разі замикань у глибині пакета

Виявляти замикання в глибині зубця тепловізійною технікою можна за допомогою методу теплової хвилі. Однак цей метод потребує високої чутливості тепловізора та його стаціонарного встановлення, що своєю чергою вимагає неодноразового проведення випробувань. Метод теплової хвилі має значні обмеження щодо глибини виявлення замикань.

Для виявлення замикання між листами активної сталі статора електричної машини, як на поверхні зубців і дні паза, так і в тілі зубця найпридатнішим є метод малих індукцій, відомий, як ELCID – Electromagnetic Core Imperfection Detection. Намагнічування здійснюється індукцією, що

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

становить 2–5 % від робочої [3–5]. Замикання в листах активної сталі призводить до появи замкнутого контуру, протікання струму по якому зумовлює локальне перегрівання, що може спричинити пошкодження ізоляції обмотки. Замикання, які є в тілі зубця, не є небезпечними і не потребують дорогого ремонту. Тому важливим є не лише виявлення факту замикання, а й оцінювання рівня загрози, яку воно становить.

Оцінюють стан ізоляції за амплітудою та фазою коливань в опорному витку та давачі. Однак в умовах електростанції як в давачі, так і в опорному витку наводяться коливання вищих гармонік, які призводять до похибки визначення зсуву фази і тим самим зменшують точність оцінювання.

Формулювання цілі статті

Актуальною є модернізація електромагнітного методу виявлення замикань між листами електротехнічної сталі осердя статора електричної машини.

Застосування різницевого спектрального аналізу для виявлення замикань у листах осердя статора електромагнітним методом

Уникнути негативного впливу наведених гармонік дає змогу використання різницевого кореляційного та спектрального аналізу [4, 5]. Для ідентифікації місця замикання використовується різниця фаз максимальних гармонік сигналів опорного витка та давача. Використання різницевого спектрального аналізу робить метод нечутливим до характеристик давача.

Схема дослідної установки показана на рис. 6. Джерелом живлення кола намагнічування використано лабораторний трансформатор. Напругу живлення вибирають так, щоб забезпечити намагнічування осердя індукцією 0.05 від робочої. Обмотка збудження забезпечує намагнічування осердя. Сигнальний виток призначений для створення опорного сигналу, відносно якого визначається зсув фази.

Для досліджень використано статор електричного двигуна без обмотки. Здійснено замикання листів активної сталі на верхній поверхні зубця, на бічній поверхні зубця та на дні паза.

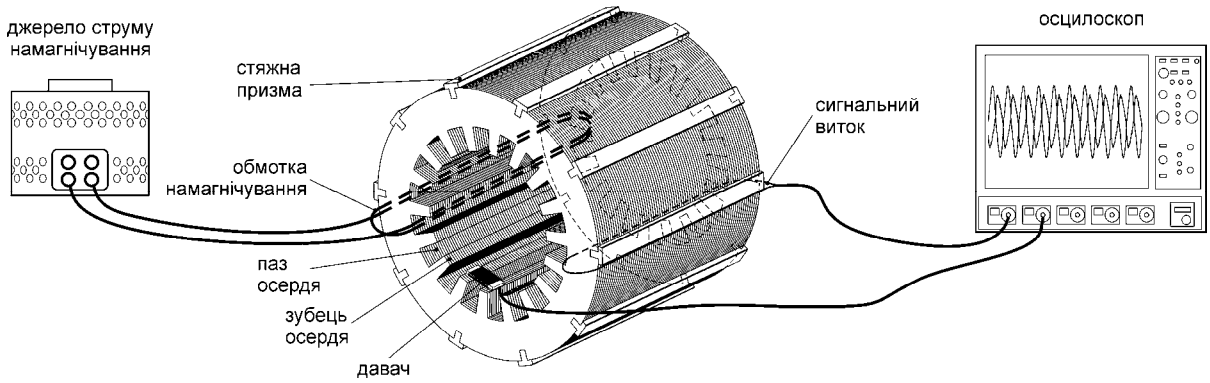


Рис. 6. Схема дослідної установки

Кореляційну функцію на локально стаціонарній ділянці для додатних $m = \overline{0, P}$ часових зсувів визначаємо як [3]:

$$\hat{K}_{xy}(m, N_A(t)) = \frac{1}{N_A(t) - m} \sum_{k=0}^{N_A(t)-m-1} \overset{\circ}{x}_k \overset{\circ}{y}_{k+m},$$

і для від'ємних $-m = \overline{-P, -1}$ зсувів

$$\hat{K}_{xy}(-m, N_A(t)) = \frac{1}{N_A(t) - m} \sum_{k=0}^{N_A(t)-m-1} \overset{\circ}{x}_{k+m} \overset{\circ}{y}_k,$$

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

де $N_A(t) = ENT(\Theta_A / T_\partial)$ – кількість відліків локально стаціонарної ділянки, $\overset{\circ}{x}_k$ – центровані відліки досліджуваного сигналу, PT_∂ – інтервал кореляції.

Різниці між кореляційними функціями для додатних та від'ємних зсувів знаходимо з виразів

$$\Delta K_{xy}(m) = \overline{\hat{K}_{xy}(m)} - \hat{K}_{xy}(m),\ \Delta K_{xy}(-m) = \overline{\hat{K}_{xy}(-m)} - \hat{K}_{xy}(-m)$$

тут взірцеві кореляційні функції $\overline{\hat{K}_{xy}(m)}$, $\overline{\hat{K}_{xy}(-m)}$ визначаються усередненням за n реалізаціями, отриманими під час дослідження неушкодженої лопатки

$$\overline{\hat{K}_{xy}(m)} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{K}_{xy}(m)\right)_i \quad \text{та} \quad \overline{\hat{K}_{xy}(-m)} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{K}_{xy}(-m)\right)_i .$$

Спектр потужності для $k = \overline{1, P}$ частот визначаємо на основі перетворення Вінера-Хінчина

$$\hat{G}_{xy}(k) = \sum_{m=-P}^{P}\hat{K}_{xy}(m)\exp\left(-j\frac{2\pi}{2P+1}mk\right),$$

а різницю спектрів як [2]:

$$\Delta G_{xy}(k) = \overline{\hat{G}_{xy}(k)} - \hat{G}_{xy}(k),$$

тут $\overline{\hat{G}_{xy}(k)}$ – взірцевий спектр потужності, визначений з усередненої кореляційної функції $\overline{\hat{K}_{xy}(m, N_A(t))}$.

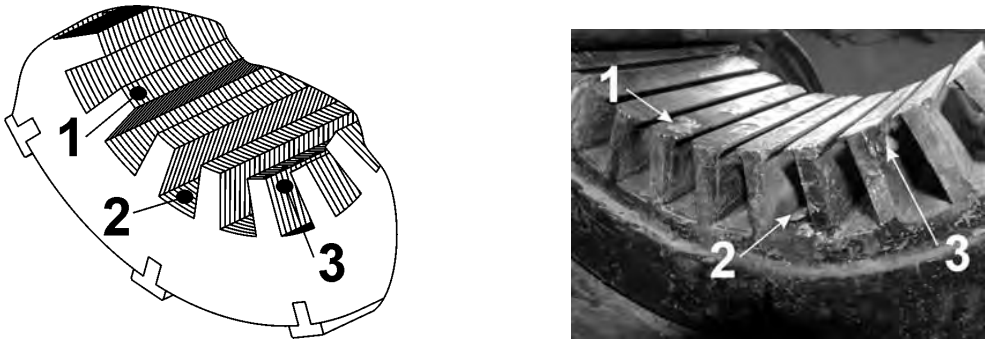


Рис. 7. Місця розташування дефекту: 1 – дефект на зовнішній поверхні зубця, 2 – дефект на дні паза, 3 – дефект на бічній поверхні паза

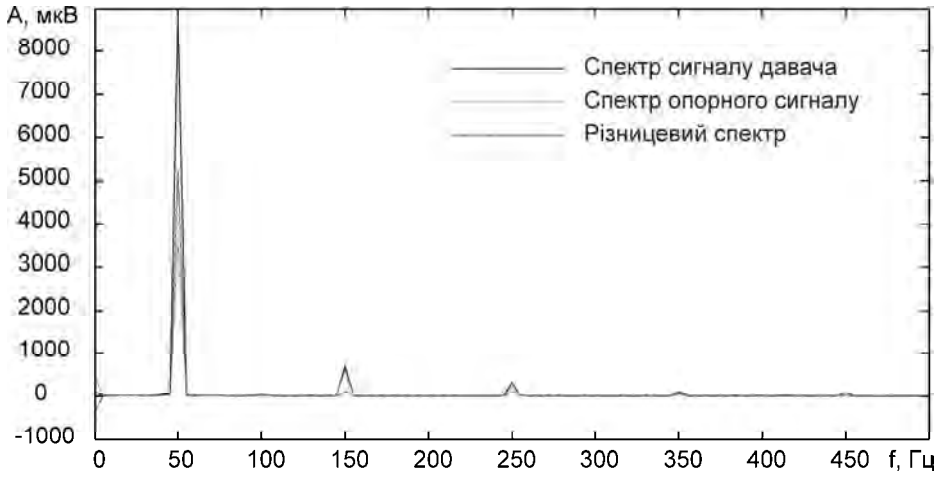


Рис. 8. Порівняння опорного сигналу та сигналу з давача за найбільшою гармонікою

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

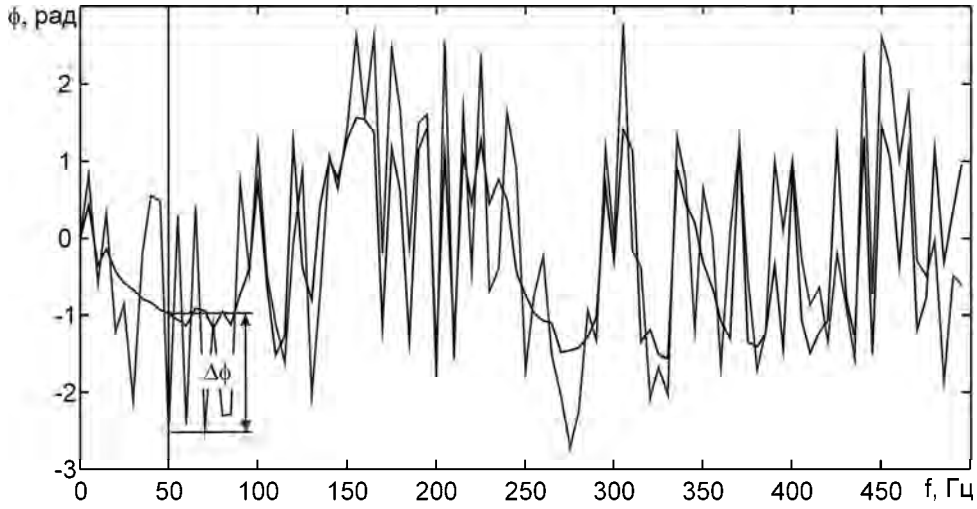


Рис. 9. Різниця фаз максимальних гармонік опорного сигналу та сигналу з давача

Результати вимірювання фаз найбільших гармонік у спектрах сигналів з давача та сигнальної обмотки показані в табл. 1.

Таблиця 1

	Без дефекту	Дефект на дні паза	Дефект на бічній поверхні	Дефект зверху зубця
Лінійний	0.59175	0.637133	0.6215	0.616375
U-подібний	0.54328	0.661033	0.6352	0.620433

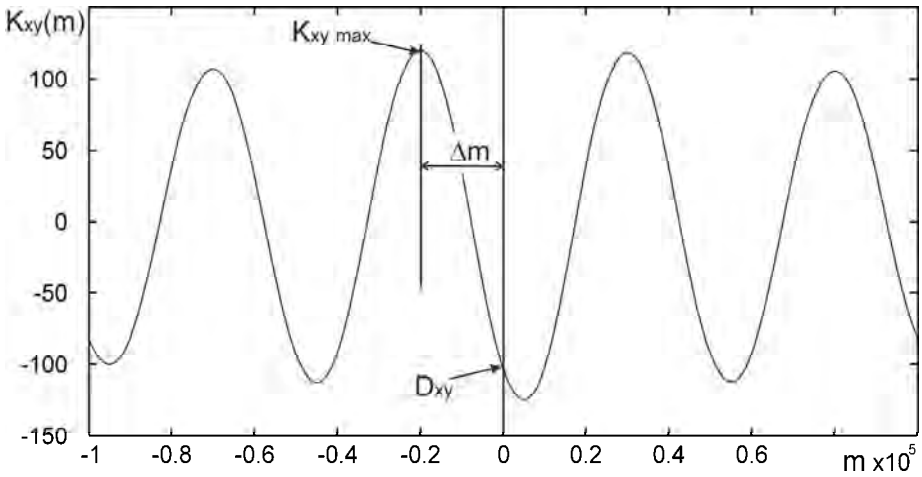


Рис. 10. Зсув максимуму взаємокореляційної функції відносно середини діапазону вимірювання

У табл. 2 показано зсув максимуму взаємокореляційної функції відносно середини діапазону вимірювання різних типів давачів.

Таблиця 2

	Без дефекту	Дефект на дні пазу	Дефект на бічній поверхні	Дефект вверху зуба
Лінійний	4744.8	5198.2	5024.8	5005,2
U-подібний	4370.3	5350,5	5091.8	4784.2

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Висновки

На основі проведених досліджень можна стверджувати, що місце замикання ідентифікується за фазою гармоніки з найбільшою амплітудою. Найкращий результат надають давачі, виготовлені відповідно до розмірів конкретного осердя статора. Використання різницевого спектрального аналізу не потребує точних давачів, а це дає змогу швидко виготовити давач, адаптований для конкретного статора, що робить метод зручним у використанні.

1. СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007 "Норми випробувань електрообладнання". Офіційне видання. – К.: ДП МОУ "Воєнне видавництво України "Варта", 2007. 2. СОУ-Н ЕЕ 20.577:20 07 " Технічне діагностування електротехнічного обладнання та контактних з'єднань електроустановок і повітряних ліній електропередачі засобами інфрачервоної техніки". Методичні вказівки. – К.: Вид-во ДП "НТУКЦ АсЕлЕнерго", 2007. 3. Поляков Ф.А. Электромагнитный метод контроля изоляции листов активной стали статоров турбогенераторов // Новое в российской электроэнергетике. №12. – 2001. – С. 39–45. 4. Ибадов О.И., Чистиков А.П. Оценка состояния сердечника статора турбогенераторов по результатам измерения удельных потер в отдельных пакетах // Новое в российской электроэнергетике. – №11. – 2 002. – С.20–24. 5. Аврух В.Ю. Повышение надежности эксплуатации турбогенераторов в нестационарном режиме // Новое в российской электроэнергетике. – №5. – 2003. – С. 31–38.

УДК 681.5.017

Г.Ф. Матіко
Національний Університет "Львівська політехніка",
кафедра автоматизації теплових і хімічних процесів

МОДЕЛЬ ГАЗОДИНАМІЧНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА СКЛАДУ ГАЗОВИХ СУМІШЕЙ НА МОСТОВІЙ ДРОСЕЛЬНІЙ СХЕМІ

© Матіко Г.Ф., 2011

Запропоновано математичну модель газодинамічного вимірювального перетворювача складу газових сумішей на мостовій дросельній схемі із ламінарно-турбулентним та турбулентно-ламінарним подільниками та здійснено аналіз його функціональних можливостей.

Ключові слова: газодинамічний вимірювальний перетворювач, газова суміш, дросельний елемент, мостова дросельна схема, чутливість, дросельний подільник.

This paper is devoted to synthesis of mathematic model of gasdynamic measuring converter of gas mixture composition built at throttle bridge circuit using laminar and turbulent throttle dividers. There also the analysis of its function al capabilities is carried out.

Key words: gasdynamic measuring converter, gas mixture, throttle element, throttle bridge circuit, sensitivity, throttle divider.

Постановка проблеми

На сучасному етапі у всіх галузях промисловості спостерігається постійне зростання вимог до ефективності технологічних процесів та якості готової продукції, до зменшення шкідливих викидів та забезпечення чистоти навколишнього середовища, що своєю чергою підвищує вимоги

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua