

КОНТРОЛЬ СТУПЕНЯ РОЗПУШЕННЯ КРАЙНІХ ПАКЕТІВ ЗУБЦЕВОЇ ЗОНИ ОСЕРДЯ СТАТОРА ТУРБОГЕНЕРАТОРА З ЗАСТОСУВАННЯМ ЄМНІСНОГО СЕНСОРА

А.С.Левицький, канд.техн.наук, **А.І.Новік**, докт.техн.наук, **Г.М.Федоренко**, докт.техн.наук
Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03860, Україна.
e-mail: lev@ied.org.ua

Запропоновано ємнісний метод контролю ступеня розпушення крайніх пакетів зубцевої зони осердя статора потужного турбогенератора. Показано, що розпушення пов'язане з виникненням газових проміжків між листами в пакеті. Контроль здійснюється при накладанні ємнісного сенсора на розпушений пакет через шар діелектрика. Сенсор є системою високопотенціальних і низькопотенціальних паралельних компланарних електродів, що чергуються між собою. Розроблено розрахункову модель та визначено всі складові ємності сенсора. Ці складові представлено у вигляді залежностей розмірів сенсора, товщини ізоляційного діелектричного прошарку між поверхнею сенсора і поверхнею пакета від величини проміжків між листами в пакеті. Визначено, що інформацією про появу розпушення є зміна однієї із складових електричної ємності сенсора. Аналітичні залежності, отримані в роботі, можуть бути використані для проектування реального промислового пристрою. Бібл. 8, рис. 4.

Ключові слова: турбогенератор, статор, осердя, розпушення, ємнісний сенсор, система електродів.

Одним з найбільш небезпечних дефектів статорів потужних турбогенераторів є втомне руйнування листів активної сталі в зубцевій зоні крайніх пакетів, що призводить до скорочення міжремонтних періодів, збільшення об'ємів ремонту, аварійних відключень генераторів. Необхідною умовою початку процесу руйнування є втрата щільності пресування в коронках зубців крайніх пакетів. Розпушування зубців у торцевій зоні супроводжується вібрацією листів активної сталі під впливом аксіальних знакозмінних електромагнітних сил, що впливають на торцеву зону зубців осердя. Виникають втомні тріщини листів з подальшим їхнім зломом та викришуванням, що дуже небезпечно: мали місце випадки, коли фрагменти листів прорізали корпусну ізоляцію стержнів обмотки статора і призводили до пробою ізоляції. Дуже швидко – менш ніж за рік – ушкодження ослаблених зубців настають при роботі турбогенераторів з коефіцієнтом потужності, близьким до одиниці, і особливо в режимі споживання реактивної потужності, коли різко зростають аксіальні електромагнітні сили в торцевих зонах. Зниження тиску пресування в сердечнику, почавшись у торцевих зонах зубців, за несприятливих умов може поширитися і на інші зони осердя [1,7]. Як правило, щільність пресування крайніх пакетів осердя статора перевіряється візуально і спеціальним ножом або клиноподібним щупом. Мірою появи розпушення є величина заглиблення щупа між окремими листами активної сталі, яка не повинна бути більшою 4 мм. Такий метод вимагає значних витрат часу: так, один зубець статора турбогенератора ТГВ-200 має 90 пакетів, а весь статор 5400. Проникнення клина між листами може спричинити знищення ізоляції сусідніх листів, утворення замкнутого контуру, виникнення локальних перегрівів осердя [1,2–4]. Ультразвуковий метод, який базується на залежності часу проходження ультразвукового імпульсу через пакет від ступеня його спресованості, має низку недоліків, одним з яких є залежність результатів вимірювань від навичок персоналу [3].

У даній роботі пропонується спосіб виявлення розпушування зубців осердя статора в кінцевій зоні за допомогою ємнісного сенсора з багатьма паралельними стрічковими компланарними електродоми 1 і 2 (рис. 1).

Інформацією про появу розпушення, тобто виникнення зазорів між листами пакета активної сталі, є зміна електричної ємності сенсора між системою високопотенціальних і низькопотенціальних електродів, що чергуються між собою. Система з багатьма компланарними стрічковими електродоми застосовується для підвищення чутливості вимірювання діелектричних властивостей матеріалів (за умов одностороннього доступу до них). Розробка таких багатоелектродних систем потребує особливих методів розрахунку електричного поля та ємності між електродоми [5,6]. Складемо спрощену модель кінцевої зони зубця осердя. Розглядаючи щільно спресований пакет, приймаємо, що листи 3 товщиною h розділені діелектричними проміжками товщиною Δ з відносною діелектричною проникністю ϵ_{Δ}

(рис. 1, а). З появою розпушування ізоляційні покриття листів будуть зруйновані, і проміжок δ між листами заповниться повітрям або газом з діелектричною проникністю ε_δ . Будемо вважати, що після початку розпушування з часом проміжок δ почне збільшуватися. Прийmemo, що всі проміжки при цьому однакові (рис. 1, б).

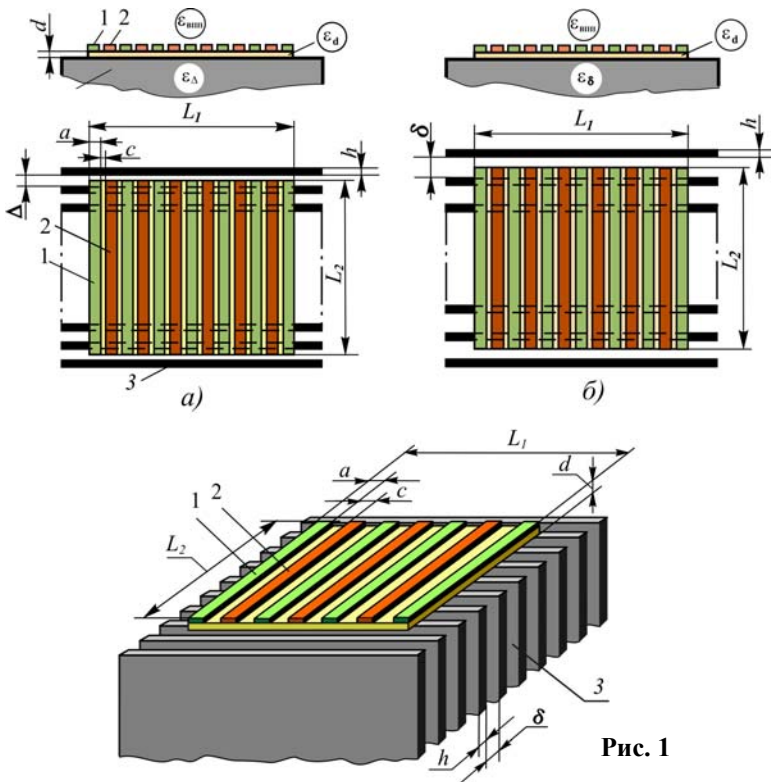


Рис. 1

Накладений на торець пакета компланарний сенсор складається з багатьох стрічкових паралельних електродів і має розмір $L_1 \times L_2$. Напрямок стрічок перпендикулярний листам пакета. Низькопотенціальні електроди 1 і високопотенціальні електроди 2 мають ширину a і розташовані на відстані c один від одного. Кількість високопотенціальних електродів 2 дорівнює $N = (L_1 - a) / (2(a + c))$, а низькопотенціальних $(N + 1)$. Щоб уникнути замикань електродів сенсора між собою та листами пакета, між електродами і листами знаходиться шар діелектрика товщиною d . За наявності різниці потенціалів між електродами 1 і 2 над ними (у верхньому напівпросторі) і під ними (у нижньому напівпросторі) утвориться електричне поле. Електрична ємність такої системи буде складатися із суми ємностей верхнього напівпростору $C_{\text{ВПП}}$ і нижнього напівпростору $C_{\text{НПП}}$.

Очевидно, що ємність $C_{\text{ВПП}}$ є постійною, тобто не змінюється з появою розпушення.

Ємність нижнього напівпростору $C_{\text{НПП}}$ складається із суми двох ємностей (рис. 2 та 3):

а) ємності $C_{1\text{НПП}}$, утвореної системою електродів 1 і 2, а також торцями листів пакета з шаром діелектрика товщиною d (рис. 3); б) ємності $C_{2\text{НПП}}$ системи електродів 1 і 2 у двошаровому діелектрику з діелектричною проникністю відповідно ε_d та ε_δ (або ε_δ при появі розпушення) (рис. 2).

Повна ємність всієї системи, або ємність сенсора, буде дорівнювати

$$C_c = C_{\text{ВПП}} + C_{\text{НПП}} = C_{\text{ВПП}} + C_{1\text{НПП}} + C_{2\text{НПП}}. \quad (1)$$

Ємність $C_{\text{ВПП}}$. Для розрахунку $C_{\text{ВПП}}$ використаємо результати [5,6]:

$$C_{\text{ВПП}} = 2\varepsilon_{\text{ВПП}}\varepsilon_0 L_2 \left[K(k_1) / K(k'_1) + (N-1)K(k_2) / K(k'_2) \right] \quad (2)$$

де N – кількість електродів 2; $K(k_1)$ – повний еліптичний інтеграл першого роду від модуля k_1 ; $K(k'_1)$ – повний еліптичний інтеграл від додаткового модуля k'_1 ; $k'_1 = (1 - k_1^2)^{0,5}$; $K(k_2)$ – повний еліптичний інтеграл першого роду від модуля k_2 ; $K(k'_2)$ – повний еліптичний інтеграл від додаткового модуля k'_2 ; $k'_2 = (1 - k_2^2)^{0,5}$;

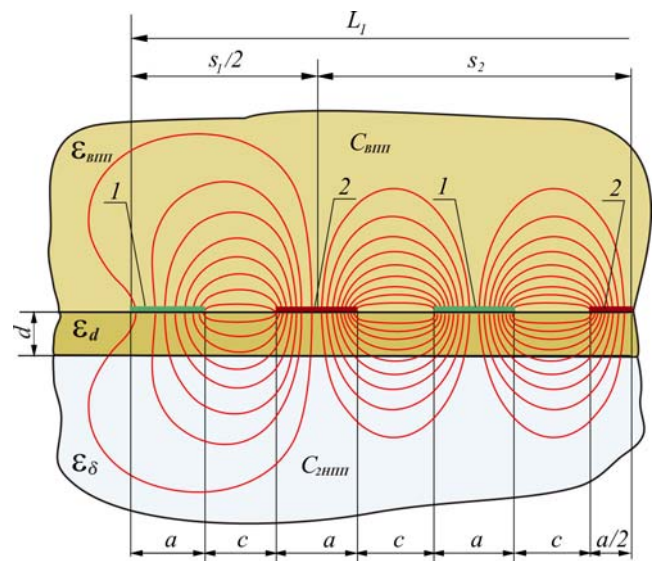


Рис. 2

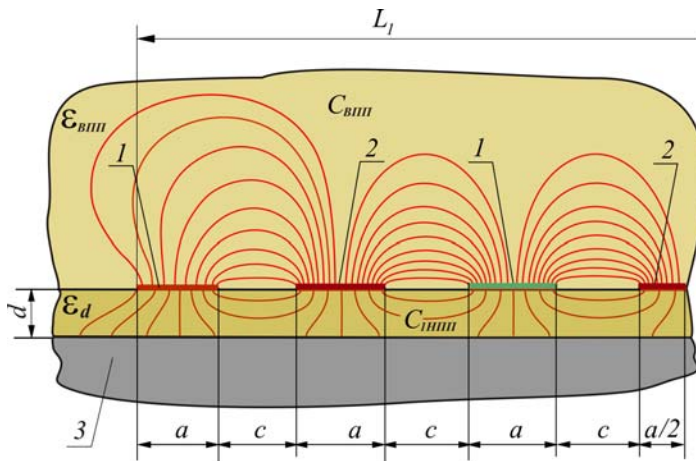


Рис. 3

$$k_1 = p(p+2)^{-1} \sqrt{2p(2p+1)^{-1}}; \quad p = a/c;$$

$$k_2 = \operatorname{tg} [0,25\pi p(p+1)^{-1}] \cdot \left\{ \operatorname{tg} [0,25\pi(p+2)(p+1)^{-1}] \right\}^{-1}.$$

Електричне поле у верхньому напівпросторі на краях системи (зліва і справа) можна розглядати як поле трьох електродів (1–2–1) з загальною шириною s_1 , а поле всередині системи – як періодичне повторення поля трьох електродів (2–1–2) з періодом s_2 (рис. 3).

Ємність $C_{1\text{HPP}}$. Складається із суми ємностей $C'_{1\text{HPP}}$ окремих ділянок, кількість яких $M_1 = L_2/(h + \Delta)$ залежить від кількості листів 3, що знаходяться під площиною сенсора (рис. 1).

Кількість ділянок M_1 буде зменшуватися з появою розпушення. Ємність $C'_{1\text{HPP}}$ є величиною постійною і залежить від величини та співвідношення розмірів a, c, d . Її можна розрахувати, використавши формулу з роботи [8], яка за умови $a = c$ набуде вигляду

$$C'_{1\text{HPP}} = \frac{\varepsilon_d \varepsilon_0}{\pi} \ln \frac{(\operatorname{th}(\pi a/4d) + \operatorname{th}(3\pi a/4d))^2}{4\operatorname{th}(3\pi a/4d) \cdot \operatorname{th}(\pi a/4d)}, \quad (3)$$

де ε_d – відносна діелектрична проникність діелектрика.

$$\text{Для стисненого пакета} \quad C_{1\text{HPP}}^{\text{СП}} = 2NM_1 h C'_{1\text{HPP}} = 2NL_2 h (h + \Delta)^{-1} C'_{1\text{HPP}}. \quad (4)$$

Для пакета з розпушенням кількість ділянок зміниться $M_2 = L_2/(h + \delta)$, а ємність $C_{1\text{HPP}}^{\text{РП}}$ складе

$$C_{1\text{HPP}}^{\text{РП}} = 2NM_2 h C'_{1\text{HPP}} = 2NL_2 h (h + \delta)^{-1} C'_{1\text{HPP}}. \quad (5)$$

З урахуванням (3) встановимо, що

$$C_{1\text{HPP}}^{\text{СП}} = \frac{\varepsilon_d \varepsilon_0}{\pi} \frac{2NL_2 h}{h + \Delta} \ln \frac{\left(\operatorname{th} \frac{\pi a}{4d} + \operatorname{th} \frac{3\pi a}{4d} \right)^2}{4\operatorname{th} \frac{3\pi a}{4d} \cdot \operatorname{th} \frac{\pi a}{4d}}, \quad C_{1\text{HPP}}^{\text{РП}} = \frac{\varepsilon_d \varepsilon_0}{\pi} \frac{2NL_2 h}{h + \delta} \ln \frac{\left(\operatorname{th} \frac{\pi a}{4d} + \operatorname{th} \frac{3\pi a}{4d} \right)^2}{4\operatorname{th} \frac{3\pi a}{4d} \cdot \operatorname{th} \frac{\pi a}{4d}}. \quad (6,7)$$

У реальних сенсорах конструктивні співвідношення становлять $a = c > 3d$. Внаслідок цього $\operatorname{th}(\pi a/4d) \approx 1$, $\operatorname{th}(3\pi a/4d) \approx 1$, а $\ln \left\{ \left[\operatorname{th}(\pi a/4d) + \operatorname{th}(3\pi a/4d) \right]^2 \left[4\operatorname{th}(3\pi a/4d) \cdot \operatorname{th}(\pi a/4d) \right]^{-1} \right\} \approx 0$.

В результаті чого зробимо висновок, що ємності $C_{1\text{HPP}}^{\text{СП}}$ і $C_{1\text{HPP}}^{\text{РП}}$ також практично дорівнюють нулю і не будуть позначатися на інформативному сигналі сенсора.

Ємність $C_{2\text{HPP}}$. Ємність $C_{2\text{HPP}}$ нижнього півпростору є ємністю накладного конденсатора з багатьма секціями, який містить двошаровий діелектрик (рис. 2). При цьому один шар – діелектрик товщиною d , а другий – проміжок між листами пакета, діелектрична проникність якого в щільно спресованому пакеті ε_Δ , а в розпушеному – ε_δ .

В стисненому пакеті ємність $C_{2\text{HPP}}^{\text{СП}}$ – це сума ємностей $C'_{2\text{HPP}}$ кожної з ділянок у кількості M_1

$$C_{2\text{HPP}}^{\text{СП}} = M_1 C_{2\text{HPP}}^\Delta = L_2 (h + \Delta)^{-1} C_{2.1\text{HPP}}^\Delta. \quad (8)$$

Кількість ділянок M_1 визначена вище, а ємність $C_{2.1\text{HPP}}^\Delta$ одиничної ділянки секційного конденсатора із двошаровим діелектриком згідно з [2] становить

$$C_{2.1\text{НПП}}^{\Delta} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_{\Delta} 4\Delta\alpha(2N+1)}{\pi} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{\sin(n\alpha)}{(n\alpha)^2} \cdot \frac{\text{ch}q + (\varepsilon_d / \varepsilon_{\Delta}) \cdot \text{sh}q}{\text{ch}q + (\varepsilon_{\Delta} / \varepsilon_d) \cdot \text{sh}q}, \quad (9)$$

де $\alpha = \pi a / (a + c)$; $q = \pi nd / (a + c)$; $N = 0,5(L_1 - a) / (a + c)$ – кількість електродів 2; Δ – величина діелектричного проміжку між стисненими листами; d – товщина шару діелектрика між поверхнею електродів 1, 2 і торцями пакетів 3. Величина $C_{2\text{НПП}}^{\text{СП}}$ визначиться як

$$C_{2\text{НПП}}^{\text{СП}} = \frac{L_2}{h + \Delta} \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_{\Delta} 4\Delta\alpha(2N+1)}{\pi} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{\sin(n\alpha)}{(n\alpha)^2} \cdot \frac{\text{ch}q + (\varepsilon_d / \varepsilon_{\Delta}) \cdot \text{sh}q}{\text{ch}q + (\varepsilon_{\Delta} / \varepsilon_d) \cdot \text{sh}q}. \quad (10)$$

З появою розпушення ємність $C_{2\text{НПП}}^{\delta}$ одиничної ділянки складе

$$C_{2\text{НПП}}^{\delta} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_{\Delta} 4\delta\alpha(2N+1)}{\pi} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{\sin(n\alpha)}{(n\alpha)^2} \cdot \frac{\text{ch}q + (\varepsilon_d / \varepsilon_{\Delta}) \cdot \text{sh}q}{\text{ch}q + (\varepsilon_{\Delta} / \varepsilon_d) \cdot \text{sh}q}, \quad (11)$$

а ємність $C_{2\text{НПП}}^{\text{РП}}$ двошарового конденсатора визначиться за формулою

$$C_{2\text{НПП}}^{\text{РП}} = \frac{L_2}{h + \delta} \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_{\delta} 4\delta\alpha(2N+1)}{\pi} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{\sin(n\alpha)}{(n\alpha)^2} \cdot \frac{\text{ch}q + (\varepsilon_d / \varepsilon_{\delta}) \cdot \text{sh}q}{\text{ch}q + (\varepsilon_{\delta} / \varepsilon_d) \cdot \text{sh}q}. \quad (12)$$

Якщо прийняти, що $a = c$, формули (10) та (12) можна перетворити до вигляду

$$C_{2\text{НПП}}^{\text{СП}} = \varepsilon_0 \varepsilon_{\Delta} \frac{2\Delta \cdot (2N+1)L_2}{h + \Delta} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{\sin(n\pi/2)}{(n\pi/2)^2} \cdot \frac{e^{\frac{n\pi d}{a}} + 1 + (e^{\frac{n\pi d}{a}} - 1) \cdot \varepsilon_d / \varepsilon_{\Delta}}{e^{\frac{n\pi d}{a}} + 1 + (e^{\frac{n\pi d}{a}} - 1) \cdot \varepsilon_{\Delta} / \varepsilon_d}, \quad (13)$$

$$C_{2\text{НПП}}^{\text{РП}} = \varepsilon_0 \varepsilon_{\Delta} \frac{2\delta \cdot (2N+1)L_2}{h + \delta} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{\sin(n\pi/2)}{(n\pi/2)^2} \cdot \frac{e^{\frac{n\pi d}{a}} + 1 + (e^{\frac{n\pi d}{a}} - 1) \cdot \varepsilon_d / \varepsilon_{\delta}}{e^{\frac{n\pi d}{a}} + 1 + (e^{\frac{n\pi d}{a}} - 1) \cdot \varepsilon_{\delta} / \varepsilon_d}. \quad (14)$$

Під знаком суми в (13) та (14) має місце знакозмінний ряд, що сходиться [8]. Якщо $n=1,5,9 \dots$, то члени ряду будуть додатні, бо $\sin 0,5(1+4k)=1$, а якщо $n=3,7,11 \dots$ – то від'ємні через те, що $\sin 0,5(1+2k) = -1$. Члени ряду для парних n будуть дорівнювати нулю. В даному випадку $k=0,1,2,3 \dots \infty$.

Сума ємностей $C_{\text{ВПП}}$ і $C_{2\text{НПП}}^{\text{РП}}$ буде характеристикою щільно спресованого пакета з неушкодженим лаковим покриттям листів.

Використовуючи (14), визначимо, як змінюється ємність $C_{2\text{НПП}}^{\text{РП}}$ в залежності від зміни проміжку δ між листами осердя при виникненні розпушення. Обмежуючися першими п'ятьма членами ряду, отримаємо

$$C_{2\text{НПП}}^{\text{РП}} \approx \varepsilon_0 \varepsilon_{\delta} \frac{8\delta \cdot (2N+1)L_2}{\pi^2 (h+\delta)} \times \left[\frac{1}{0,25} \cdot \frac{e^{\frac{\pi d}{a}} + 1 + (e^{\frac{\pi d}{a}} - 1)\varepsilon_d / \varepsilon_{\delta}}{e^{\frac{\pi d}{a}} + 1 + (e^{\frac{\pi d}{a}} - 1)\varepsilon_{\delta} / \varepsilon_d} - \frac{1}{2,25} \cdot \frac{e^{\frac{3\pi d}{a}} + 1 + (e^{\frac{3\pi d}{a}} - 1)\varepsilon_d / \varepsilon_{\delta}}{e^{\frac{3\pi d}{a}} + 1 + (e^{\frac{3\pi d}{a}} - 1)\varepsilon_{\delta} / \varepsilon_d} + \frac{1}{6,25} \cdot \frac{e^{\frac{5\pi d}{a}} + 1 + (e^{\frac{5\pi d}{a}} - 1)\varepsilon_d / \varepsilon_{\delta}}{e^{\frac{5\pi d}{a}} + 1 + (e^{\frac{5\pi d}{a}} - 1)\varepsilon_{\delta} / \varepsilon_d} \right]. \quad (15)$$

Таким чином, у початковому положенні на стислому пакеті осердя показники вимірювача ємності, підключеного до сенсора, будуть дорівнювати $C_{2\text{НПП}}^{\text{СП}} + C_{\text{ВПП}}$, де $C_{\text{ВПП}} = \text{const}$, а $C_{2\text{НПП}}^{\text{СП}}$ знаходиться з формули (13). При виникненні розпушення і подальшому зростанні цього дефекту ємність C_C починає рости і визначатиметься як $C_{2\text{НПП}}^{\text{РП}} + C_{\text{ВПП}}$, причому $C_{2\text{НПП}}^{\text{РП}} = f(\delta)$ і знаходиться з виразів (14) і (15).

Задамося розмірами і параметрами, які може мати реальний сенсор: $L_1=48$ мм; $L_2=50$ мм; $h=0,35$ мм; $d=0,1$ мм; $\varepsilon_{\text{ВПП}}=5,5$ (діелектрична проникність конструкційного склотекстоліту); $\varepsilon_d=5,5$ (діелектрична проникність фольгованого склотекстоліту); $\varepsilon_{\delta}=1$ (діелектрична проникність

повітря). Розрахуємо $C_{ВПП}$ та $C_{2НПП}^{РП} = f(\delta)$ для $a=0,3$ мм і $a=0,4$ мм. Отримаємо $C_{ВПП (a=0,3 \text{ мм})} \approx 98$ пФ; $C_{ВПП (a=0,4 \text{ мм})} \approx 75$ пФ.

Ємність $C_{ВПП}$ можна практично зменшити до нуля, якщо розмістити у верхньому напівпросторі паралельно площині електродів заземлений екран з малим ізолюючим проміжком, що оптимізує вимірювання, бо відносна зміна інформативної ємності $C_{2НПП}^{РП}$ значно зросте. До того ж, через те, що

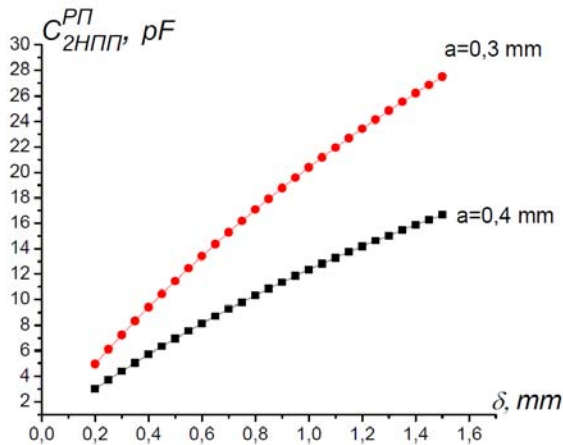


Рис. 4

постійні ємності $C_{ВПП}$ і $C_{1НПП}^{РП}$ ввімкнені паралельно інформативній ємності $C_{2НПП}^{РП}$, вони не будуть позначатися на результаті вимірювання.

Залежність $C_{2НПП}^{РП} = f(\delta)$ для двох значень ширини електродів $a=0,3$ мм і $a=0,4$ мм показана на рис. 4.

У виразах (8)–(15) не враховано екрануючий ефект листів сталі, який зменшує ємність $C_{2НПП}^{РП}$. Аналітичний розрахунок цього впливу є дуже складним. Проте, зменшення ємності кожної ділянки за рахунок екрануючого ефекту незначне і на якісну картину процесу впливає мало.

Отримані результати дозволять спроектувати ємнісний сенсор контролю ступеня розпушування крайніх пакетів осердя потужних ТГ.

1. Алексеев Б.А. Определение состояния (диагностика) крупных турбогенераторов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2001. – 152 с.
2. Бергманис К.А., Матисс И.Г., Слава Х.Э. Исследование селективности накладных емкостных датчиков // Изв. АН Латвийской ССР. Серия физ. и техн. наук. – 1971. – №5. – С. 75–82.
3. Грень Я.В., Роман В.І. Дослідження розповсюдження ультразвукового імпульсу в пакеті листів електротехнічної сталі // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Електроенергетичні та електромеханічні системи. – 2011. – №707. – С. 36–41.
4. Кузнецов Д.В., Маслов В.В., Пикульский В.А., Поляков В.И., Поляков Ф.А. Дефекты турбогенераторов и методы их диагностики на начальной стадии появления // Электрические станции. – 2004. – №4. – С. 51–57.
5. Левицкий А.С., Медведев М.П., Михаль А.А. Расчет коэффициента преобразования планарной системы электродов с гребенчатой геометрией // Техн. электродинамика. – 2006. – №5. – С. 9–16.
6. Левицкий А.С., Баляжук Л.И. Расчет электрической емкости конденсаторов с компланарными электродами // Техн. электродинамика. – 2008. – №1. – С. 64–70.
7. Справочник по ремонту турбогенераторов. – М.: ИПКГосслужбы, ВИПКэнерго, 2006. – 724 с.
8. Gorbova Galina M., Gorbov Mikhail M., Meijer Gerard C.M. Analysis capacitance and linearity gauge characteristic of coplanar micro-displacement sensor // Proceeding XVII IMECO World Congress, June 22–27, 2007, Dubrovnic, Croatia. – TC15. – Pp. 1965–1968.

УДК 681.313.3; 681.586.772

КОНТРОЛЬ СТЕПЕНИ РАСПУШЕВКИ КРАЙНИХ ПАКЕТОВ ЗУБЦОВОЙ ЗОНЫ СЕРДЕЧНИКА СТАТОРА ТУРБОГЕНЕРАТОРА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЕМКОСТНОГО СЕНСОРА

А.С.Левицкий, канд.техн.наук, А.И.Новик, докт.техн.наук, Г.М.Федоренко, докт.техн.наук
 Институт электродинамики НАН Украины,
 пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.
 e-mail: lev@ied.org.ua

Предложен емкостный метод контроля степени распушевки крайних пакетов зубцовой зоны сердечника статора мощного турбогенератора. Показано, что распушевка связана с возникновением газовых промежутков между листами пакета. Контроль осуществляется при наложении емкостного сенсора на распушенный пакет

через слой диэлектрика. Сенсор представляет собой систему чередующихся высокопотенциальных и низкопотенциальных параллельных компланарных электродов. Разработана расчетная модель и определены все составляющие емкости сенсора. Эти составляющие представлены в виде зависимостей размеров сенсора, толщины изоляционного диэлектрического слоя между поверхностью сенсора и поверхностью пакета от величины зазоров между листами в пакете. Определено, что информацией о появлении распушевки является изменение одной из составляющих электрической емкости сенсора. Аналитические зависимости, полученные в работе, могут быть использованы для проектирования реального промышленного устройства. Библ. 8, рис. 4.

Ключевые слова: турбогенератор, статор, сердечник, распушевка, емкостный сенсор, система электродов.

KONTROL OF DEGREE LOOSENING OF HATCH-END PACKAGES OF TOOTH ZONE OF STATOR CORE OF TURBOGENERATOR WITH THE USE OF CAPACITIVE SENSOR

A.S.Levytsky, A.I.Novik, H.M.Fedorenko

Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,

pr. Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.

e-mail: lev@ied.org.ua

The capacitive method of control of degree of loosening of hatch-end packages of tooth zone of stator core of power turbo generator is proposed. It is shown that loosening is related to initiation of gas intervals between the sheets of package. Control is carried out at overlapping of capacitive sensor on loosening package over the layer of dielectric. Sensor is the system of alternating highly-potential and low-potential parallel coplanar electrodes. A calculation model is developed and all components of electric capacitance of sensor are determined. These components is presented as dependences, relating sizes of sensors, thickness of isolating dielectric layer between surface of sensor and surface of package, and size of gaps between the sheets of package. It is shown that information about appearance of loosening is a change of one of components of electric capacity of sensor. Analytic dependences which have been obtained in this paper can be used for designing of real industrial device. References 8, figures 4.

Key words: turbo generator, stator, core, loosening, capacitive sensor, system of electrodes.

1. *Alekseev B.A.* Definition of condition (diagnostics) of power turbogenerators. – Moskva: Nauchno-uchebnyi tsentr ENAS, 2001. – 152 p. (Rus)
2. *Bergmanis K.A., Matiss I.G., Slava Kh.E.* Research of selectivity of the superimposed capacity sensors // Izvestiia AN Latviiskoi SSR. Serii fizicheskikh i tekhnicheskikh nauk. – 1971. – №5. – Pp. 75–82. (Rus)
3. *Gren Ja.V., Roman V.I.* Research of distribution of ultrasonic impulse is in the package of sheets of electrical engineering steel // Visnyk Natsionalnoho Universytetu “Lvivska Politechnika”. Elektroenerhetychni ta elektromekhanichni systemy. – 2011. – №707. – Pp. 36–41. (Ukr)
4. *Kuznetsov D.V., Maslov V.V., Pikulsky V.A., Poliakov V.L., Poliakov F.A.* Defects of turbo generators and methods of their diagnostics on the initial stage of beginning // Elektricheskie stantsii. – 2004. – №4. – Pp. 51–57. (Rus)
5. *Levytsky A.S., Medvedenko M.P., Mikhal A.A.* Calculation of coefficient of transformation of the coplanar system of electrodes with fingered geometry // Tekhnichna elektrodynamika. – 2006. – №5. – Pp. 9–16. (Rus)
6. *Levytsky A.S., Baliashchuk L.I.* Calculation of electric capacity of capacitors with coplanar electrodes // Tekhnichna elektrodynamika. – 2008. – №1. – Pp. 64–70. (Rus)
7. *Reference book on repair of turbo generators.* – Moskva: IPKgossluzhby, VIPKenergo, 2006. – 724 p. (Rus)
8. *Gorbova Galina M., Gorbov Mikhail M., Meijer Gerard C.M.* Analysis capacitance and linearity gauge characteristic of coplanar micro-displacement sensor // Proceeding XVII IMECO World Congress, June 22–27, 2007, Dubrovnic, Croatia. – TC15. – Pp. 1965–1968.

Надійшла 04.04.2013

Received 04.04.2013