



ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІЇ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЄМНІСНОГО СЕНСОРА КОНТРОЛЮ СТУПЕНЯ РОЗПУШЕННЯ КРАЙНІХ ПАКЕТІВ ЗУБЦЕВОЇ ЗОНИ ОСЕРДЯ СТАТОРА ПОТУЖНОГО ГЕНЕРАТОРА

Отримано аналітичні та графічні залежності для функції перетворення ємнісного сенсора контролю ступеня розпушення крайніх пакетів зубцевої зони потужного генератора. Інформативною ємністю сенсора, яка при розпушенні змінюється з появою проміжків між листами, є ємність між плоским активним електродом (накладеним з діелектричним прошарком на пакет осердя) і торцями листів пакета.

Утомне руйнування листів активної сталі осердя потужних генераторів в зубцевій зоні крайніх пакетів є одним з найбільш небезпечних дефектів машини. Простіше всього ослаблення пресування пакетів визначається на зупиненій машині прямим вимірюванням товщини пакета спеціальним пристроєм у вигляді штангенциркуля [1]. Зміна товщини пакета вказує на місцеві нещільності.

Можлива перевірка і спеціальним клино-подібним щупом. Мірою появи розпушення є величина заглиблення щупа, між окремими листами активної сталі, яка не повинна бути більшою, ніж 4 мм [2].

Зазначені методи вимагають значних затрат часу, до того ж проникнення клина між листами може спричинити ушкодження ізоляції сусідніх листів, утворення замкнутого контуру, виникнення локальних перегрівів осердя.

Більш продуктивним є ультразвуковий метод, який базується на залежності часу проходження ультразвукового імпульсу через пакет від ступеня його спресованості, що також має недоліки. По-перше, результати вимірювань цим методом значною мірою залежать від навиків персоналу. По-друге, практичне застосування методу засвідчило, що час проходження імпульсу через пакет не є параметром, який однозначно відображає стан запресування пакета [3].

Вищезазначене свідчить, що існує потреба в розробці нових методів та засобів, які б дозволили здійснювати оперативний і досконалий контроль стану розпушення крайніх пакетів осердя потужних генераторів.

В роботі [4] запропоновано ємнісний спосіб контролю ступеня розпушення, в якому сенсор, що утворений системою плоских паралельних компланарних електродів, під час контролю накладається на пакет. На думку авторів, практична реалізація способу дозволяє вирішити проблему.

У даній роботі пропонується спосіб виявлен-

ня розпушення зубців осердя статора в кінцевій зоні за допомогою ємнісного сенсора з іншою конфігурацією електродів, що дає можливість підвищити чутливість приладу. Використання способу передбачає вимірювання інформативної ємності між плоским активним електродом (який з ізолюючим проміжком встановлюється на пакет осердя) і заземленими торцями листів в пакеті.

На Рис. 1 показана функціональна схема пристрою.

Пристрій складається з накладеного ємнісного сенсора, до складу якого входять активний електрод 1 та охоронний електрод 2, які за допомогою кабелю з подвійним екраном 3 з'єднані з вторинним вимірювальним перетворювачем 4. На спільну поверхню електродів 1 і 2 нанесено тонкий шар ізолятора 5 товщиною d , який ізолює електроди сенсора від заземлених листів осердя 6. Зовнішній екран кабелю 3 з'єднаний з заземленим електродом 7, який захищає сенсор від впливу паразитних ємностей.

Якщо з блока 4 на електрод 1 сенсора, накладеного на пакет осердя з листами 6, подати змінну напругу досить високої частоти, то через електричну ємність C_C , утворену електродом 1, діелектричним прошарком 5 і листами пакета 6, буде протікати електричний струм пропорційний ємності. В свою чергу ємність C_C при постійному розмірі L , залежить від проміжку δ між листами пакета, тобто від ступеня розпушення.

$$C_C = f(\delta). \quad (1)$$

Рис. 2 ілюструє конструкцію сенсора (заземлений електрод 7 умовно не показаний).

Сенсор складається з активного електрода 1 розміром $L_1 \times L_2$, який оточений охоронним електродом 2 через діелектричний прошарок 5, як показано на Рис. 2. Електрод 2, що має однаковий потенціал з активним електродом 1, але не зв'язаний з ним гальванічно, екранує активний електрод 1 і на окремих частинах сенсора створює

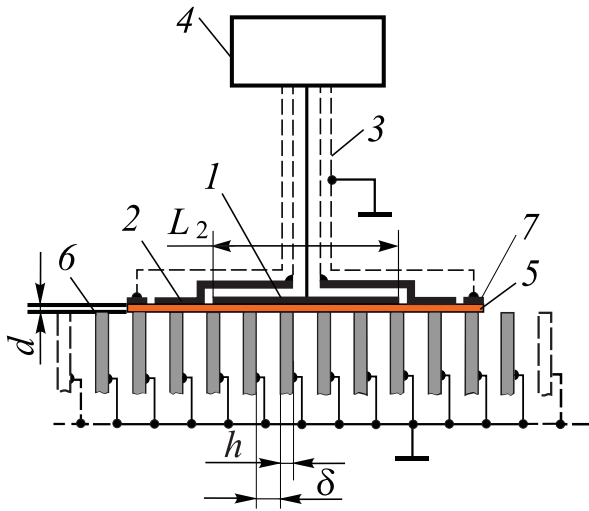


Рис. 1.

рівномірне поле. Частина електрода 2, що лежить в одній площині з електродом 1 і відокремлена від нього нескінченно вузьким ізоляційним проміжком 3, має ширину b . Ізоляційний прошарок 4 товщиною d , що нанесений на площину електродів 1 і 2, при накладанні на пакет відокремлює електроди 1 і 2 від заземлених листів 6 і запобігає замиканню. Товщина проміжку 5 вибирається з конструкційних вимог.

Інформацією про появу розпушення, тобто виникнення зазорів між листами пакета активної сталі, є зміна електричної ємності сенсора C_C між його активним електродом 1 і торцями 6 листів сталі пакета.

Коли пакет осердя щільно спресований, то його листи 6, що мають товщину h розділені діелектричними лаковими проміжками з загальною товщиною Δ з відносною діелектричною проникністю ϵ_Δ (Рис. 2, а).

З появою розпушування ізоляційні покриття листів будуть зруйновані, і за умови $\delta = \Delta$ простір між листами заповниться повітрям або газом з діелектричною проникністю ϵ_δ . Будемо вважати, що після початку розпушування, надалі, зазор почне збільшуватися. Прийемо, що всі зазори при цьому однакові (Рис. 2, б).

Розрахунок ємності C_C відображено на Рис. 3. На ньому показано конфігурацію електричного поля в сенсорі на одному із його країв.

Як видно із Рис. 2, 3, з появою розпушення, тобто зазора δ між листами, ємність C_C можна розрахувати за формулою

$$C_C = \epsilon_d \epsilon_0 N \frac{h L_1}{d} = \epsilon_d \epsilon_0 \frac{h}{\delta + h} \frac{L_1 \times L_2}{d}, \quad (2)$$

де $\epsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; ϵ_d – діелектрична проникність діелектричного прошарку 4; L_1 і L_2 – розміри активного електрода; $N = L_2 / (\delta + h)$ – кількість листів сталі, що знаходяться під площиною активного електрода; h – товщини листа електротехнічної сталі осердя; d – товщина прошарку 4.

Реальні значення ємності C_C будуть більшими від розрахованих за формулою (2), бо, окрім основної ємності між

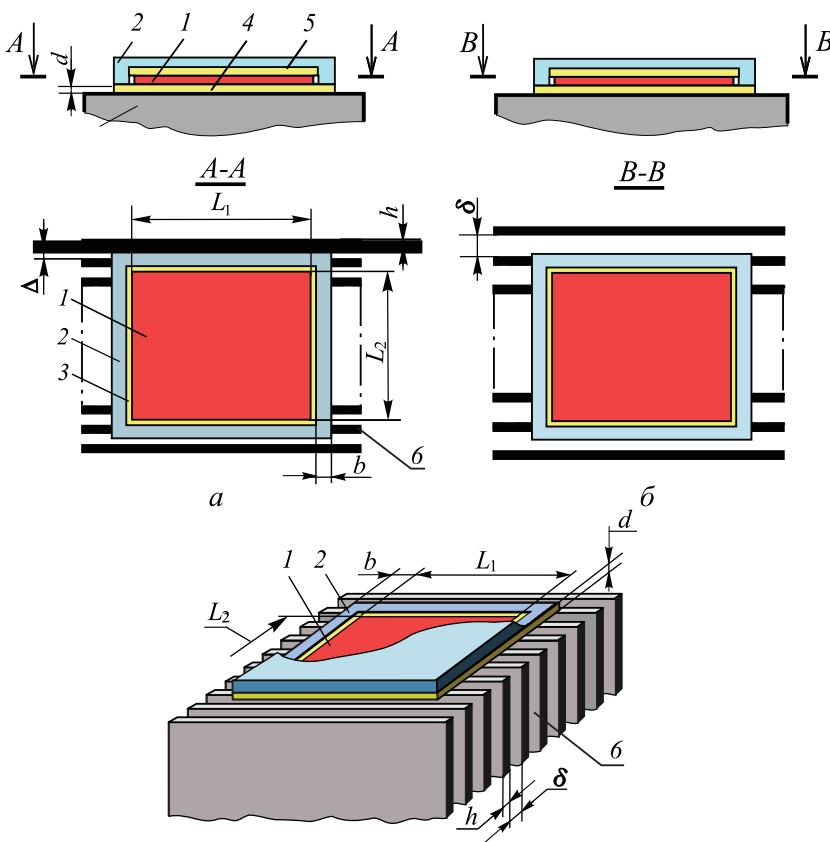


Рис. 2.

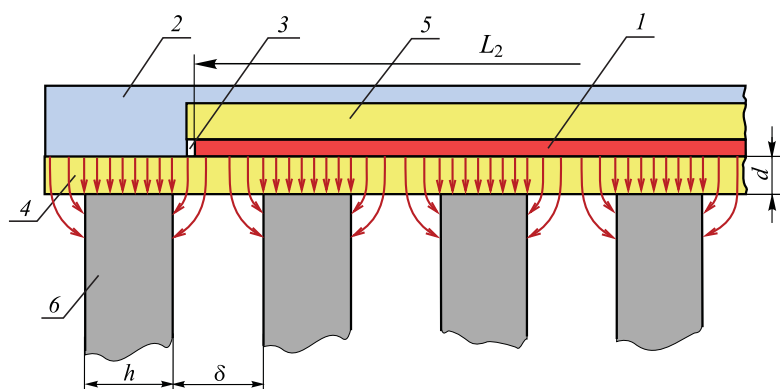


Рис. 3.



активним електродом і торцями пакета, існує додаткова ємність — між активним електродом і боковими сторонами листів пакета. Проте ця додаткова ємність істотно менша, ніж основна, і її вплив буде тим меншим, чим менше діелектричний прошарок 4.

Задамося розмірами і параметрами, які може мати реальний сенсор: $L_1 = 50$ мм; $L_2 = 50$ мм; $h = 0,35$ мм (товщина листа електротехнічної сталі, з якої зазвичай набирається осердя статора); $d = 0,1$ мм (товщина шару діелектрика); $\epsilon_d = 5,5$ (діелектрична проникність фольгованого склотекстоліту). Побудуємо графік залежності $C_c = f(\delta)$ (Рис. 4).

Якщо вторинний перетворювач 4 (Рис. 1) виконати так, що його вихідна напруга буде пропорційна не ємності C_c , а її зворотній величині (точніше ємнісному опору $1/\omega C_c$), як це зроблено у вимірювачі повітряного зазору між ротором і статором [5], то залежність $U_{\text{вих}}$ від проміжку наблизатиметься до лінійної

$$U_{\text{вих}} \approx \frac{k}{\omega C_c} = k_1 \frac{\delta+h}{h} \left(\frac{\delta}{h} + 1 \right). \quad (3)$$

Для перевірки розробленої методики вимірювання необхідно провести натурні експерименти з визначення залежності електричної ємності сенсора від ступеня розпушення. З цією метою необхідно виготовити модель, що являє собою шихтований магнітопровід, частиною якого має бути натуральний зубець якогось певного генератора, а також макет сенсора, виготовлений з заданими геометричними розмірами. Розпушування можна імітувати, задаючи певні величини зазорів між листами, і експериментально визначити залежність ємності від величини зазорів.

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

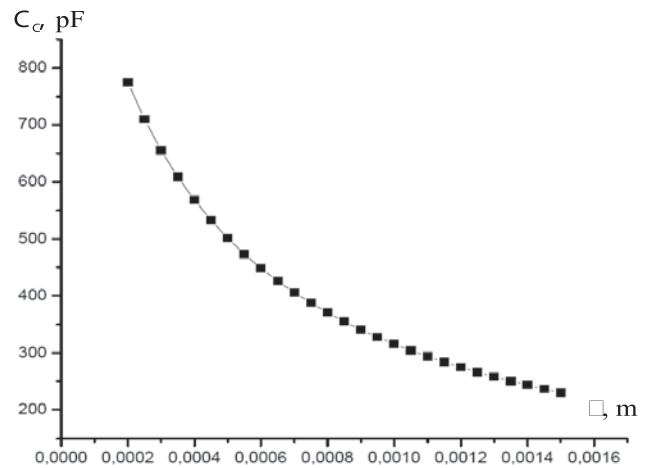


Рис. 4.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алексеев Б.А. Определение состояния (диагностика) крупных турбогенераторов. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2001. — 152 с.
2. Справочник по ремонту турбогенераторов. — М.: ИПКгосслужбы, ВИПКэнерго, 2006. — 724 с.
3. Грень Я.В., Роман В.І. Дослідження розповсюдження ультразвукового імпульсу в пакеті листів електротехнічної сталі // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка". — 2011. — №707: Електроенергетичні та електромеханічні системи. — С. 36–41.
4. Левицький А.С., Новік А.І., Федоренко Г.М. та ін. Ємнісний датчик контролю ступеня розпушування крайніх пакетів зубцевої зони осердя турбо- та гідрогенераторів // Гідроенергетика України. — 2008. — № 2. — С. 22 — 25.
5. Левицький А.С., Новік А.І., Неболюбов Є.Ю. Створення ємнісного вимірювача повітряного зазору між ротором та статором в потужних гідрогенераторах // Праці ІЕД НАНУ. Збірник наук. праць. — Вип. № 26. — 2010. — С.54–62.

© Левицький А.С., Новік А.І., 2013

