



ЄМНІСНИЙ СЕНСОР З КОМПЛАНАРНИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ БИТТЯ ВАЛА ГІДРОГЕНЕРАТОРА

Запропоновано ємнісний сенсор для вимірювання биття вала гідрогенератора та інших потужних електричних машин, у якого вимірювальний конденсатор сформований у вигляді двох компланарних прямокутних паралельних пластин. Розраховано його вимірювальну характеристику.

Контроль стану потужних генераторів ГЕС, ТЕС та АЕС з використанням засобів вимірювання параметрів дефектів відноситься до профілактичних заходів щодо підтримки працездатності машини. Впровадження автоматичних систем контролю та діагностики забезпечить перехід від ремонтів за розкладом до ремонтів за результатами моніторингу стану. Це дозволить знизити експлуатаційні витрати та продовжити термін служби основного обладнання.

В останні роки активізувалися дослідження і розробки із вдосконалення існуючих і створення нових методів і засобів виявлення дефектів генераторів. Прогрес у розвитку методів контролю певним чином обумовлюється розробками та організацією промислового виробництва нових сенсорів, принцип дії яких та конструкція пристосовані до умов використання на працюючих генераторах. Цим вимогам відповідають ємнісні первинні перетворювачі (сенсори) неелектричних величин, які є одними із найбільш перспективних засобів вимірювання параметрів механічних дефектів генераторів. Одним із таких сенсорів є сенсор для вимірювання биття циліндричних поверхонь вала генератора. Основною перевагою ємнісного сенсора биття над сенсорами інших типів (наприклад, струмовихровими) є те, що на його вимірювальну характеристику не впливають

намагніченість вала (що характерно для електричних машин) і хімічний склад матеріалу вала. В роботах [1–3] описано ємнісні сенсори, в яких інформативним параметром величини відстані між поверхнею сенсора і поверхнею вала є ємнісний струм між активним електродом сенсора і валом. Ці сенсори мають хороші метрологічні характеристики, прості за конструкцією та надійні в роботі. Недоліком їх слід вважати деяку складність конструкції, зумовлену застосуванням триаксимального кабелю між сенсором та вторинним перетворювачем, а також наявність складного у виготовленні спеціального трансформатора, обмотки якого намотані екранованим радіочастотним кабелем [4].

У даній роботі пропонується спосіб вимірювання радіального биття циліндричних поверхонь валів потужних електричних генераторів за допомогою ємнісного сенсора з плоскими компланарними електродами, що дозволяє уникнути вказаних недоліків.

На Рис. 1 показана конструктивна схема сенсора. Він складається з робочих електродів 1, 2 та охоронного електрода 3, розміщених в одній площині. Розміри електродів 1 і 2 – $a \times b$, відстань між ними дорівнює c . Ізоляційний проміжок g між електродами 1, 2 та електродом 3 є нескінченно малим. Електроди 1, 2 і 3 ізолювані шаром діелектрика 5 від металевої корпусної пластини 6.

Між електродами 1 і 2 існує електрична ємність C_{12} , яка є сумою двох ємностей: робочої C_{12P} та паразитної $C_{12П}$. Паразитна ємність $C_{12П}$ (через діелектрик 5) є постійною. Зміна робочої електричної ємності C_{12P} за умов зміни відстані d між площиною електродів 1, 2, 3 та заземленою поверхнею вала 4 є інформацією про величину биття, тобто $d = f(C_{12P})$. Величина биття визначиться як різниця між максимальною та мінімальною відстанню $\Delta d = d_{\max} - d_{\min}$.

Для розрахунку ємності C_{12P} введемо систему координат XYZ (Рис. 2). На еле-

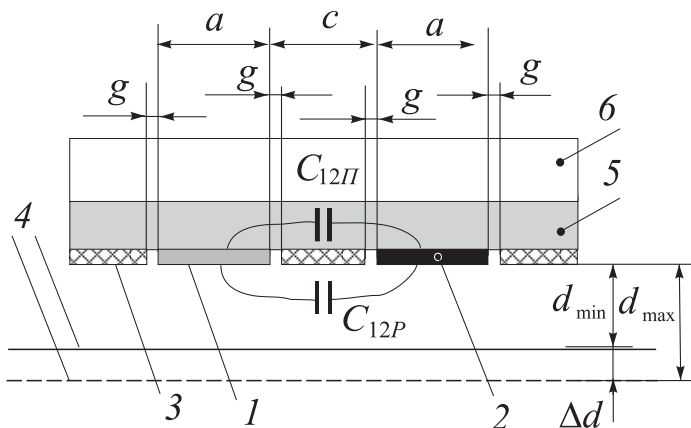


Рис. 1. Конструктивна схема ємнісного сенсора з компланарними прямокутними паралельними електродами.



ктродах 1 і 2 на відстані x_i виберемо елементарні компланарні площадки 1.1 та 2.1 з розмірами $\Delta x \times a$, причому $\Delta x \in$ нескінченно малою величиною.

Використовуючи формулу для розрахунку електричної ємності між плоскими прямокутними компланарними електродами, яка отримана в роботі [5], визначимо ємність ΔC_{12P} між елементарними площадками 1.1 та 2.1 урахуванням того, що відстань між спільною площиною площадок та валом 4 дорівнює z_i (Рис. 2).

$$\Delta C_{12P_i} = \frac{\epsilon_0 \epsilon}{\pi} \Delta x \frac{\left[\operatorname{th} \frac{\pi c}{4z_i} + \operatorname{th} \frac{\pi(c+2a)}{4z_i} \right]^2}{4 \operatorname{th} \frac{\pi(c+2a)}{4z_i} \operatorname{th} \frac{\pi c}{4z_i}} \quad (1)$$

де $\epsilon_0 = 8,8542 \text{ Ф/м}$ – діелектрична проникність вакууму; ϵ – відносна діелектрична проникність; a – ширина електродів 1 і 2; c – відстань між електродами 1 і 2; z_i – відстань між елементарними площадками 1.1, 2.1 та поверхнею вала 4.

З огляду на співвідношення сторін у прямокутних трикутниках OAB і BAO_R , визначимо, що

$$z_i = d + R - \sqrt{R^2 - x_i^2} \quad (2)$$

Тоді

$$\Delta C_{12P_i} = \frac{\epsilon_0 \epsilon}{\pi} \Delta x \times \frac{\left[\operatorname{th} \frac{\pi c}{4(d+R-\sqrt{R^2-x_i^2})} + \operatorname{th} \frac{\pi(c+2a)}{4(d+R-\sqrt{R^2-x_i^2})} \right]^2}{4 \operatorname{th} \frac{\pi(c+2a)}{4(d+R-\sqrt{R^2-x_i^2})} \operatorname{th} \frac{\pi c}{4(d+R-\sqrt{R^2-x_i^2})}} \quad (3)$$

Замінивши приріст функції Δx на диференціал dx і, з огляду на симетрію, визначимо загальну ємність C_{12P} між електродами 1 і 2, обчисливши інтеграл по плоскій області, обмеженій прямими $x_1 = 0$; $x_2 = b/2$.

$$C_{12P} = 2 \sum_{i=1}^{\infty} \Delta C_{12P_i} = 2 \frac{\epsilon_0 \epsilon}{\pi} \times \int_0^{b/2} \frac{\left[\operatorname{th} \frac{\pi c}{4(d+R-\sqrt{R^2-x^2})} + \operatorname{th} \frac{\pi(c+2a)}{4(d+R-\sqrt{R^2-x^2})} \right]^2}{4 \operatorname{th} \frac{\pi(c+2a)}{4(d+R-\sqrt{R^2-x^2})} \operatorname{th} \frac{\pi c}{4(d+R-\sqrt{R^2-x^2})}} dx \quad (4)$$

Для зручності інтегрування спростимо формулу (4) до виду

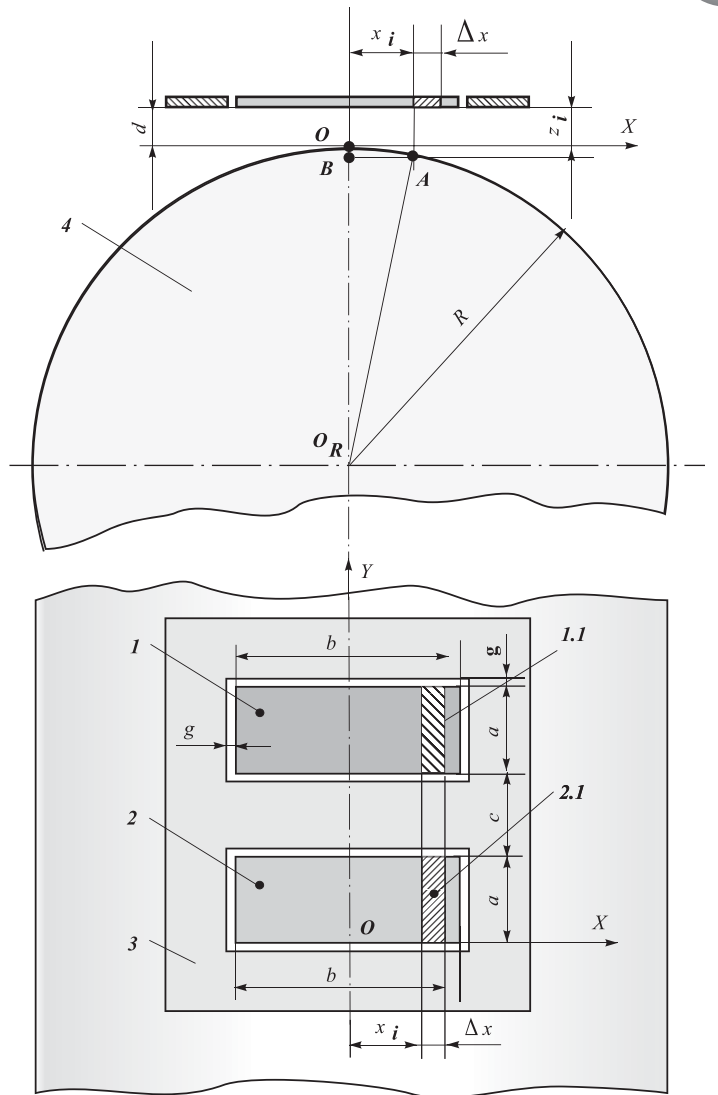


Рис. 2. Розрахункова схема сенсора.

$$C_{12P} = 2 \frac{\epsilon_0 \epsilon}{\pi} \times \int_0^{b/2} \left\{ \frac{\operatorname{th} \frac{\pi c}{4(d+R-\sqrt{R^2-x^2})}}{4 \operatorname{th} \frac{\pi(c+2a)}{4(d+R-\sqrt{R^2-x^2})}} + \frac{1}{2} + \frac{\operatorname{th} \frac{\pi(c+2a)}{4(d+R-\sqrt{R^2-x^2})}}{4 \operatorname{th} \frac{\pi c}{4(d+R-\sqrt{R^2-x^2})}} \right\} dx \quad (5)$$

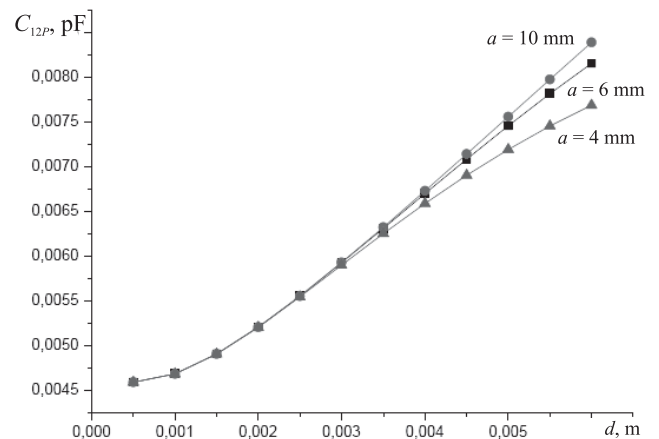


Рис. 3. Вимірвальні характеристики $C_{12P} = f(d)$ ємнісного сенсора з компланарними електродами при різних значеннях ширини електродів a ($c = 2 \text{ мм}$; $b = 10 \text{ мм}$; $R = 0,25 \text{ м}$).



Для чисельного визначення ємності C_{12P} за формулою (5) була використана програма МАТНЕМАТІСА 5.2., і результати обчислень відображені у вигляді графіків.

Висновки.

1. Запропонований ємнісний сенсор може бути використаний для вимірювання биття вала потужних електричних машин, в тому числі і гідрогенераторів.

2. Отримані результати дозволять вибрати оптимальні розміри сенсора в залежності від необхідного діапазону вимірювання биття.

3. Вимірювальна характеристика сенсора при ширині електродів $a \geq 6$ мм, відстані між електродами $c = 2$ мм в діапазоні $1,5 \text{ мм} < d < 6$ мм має лінійний характер.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Левицький А.С., Новик А.И.* Оценка погрешности измерения емкостными датчиками биений валов электрических машин // Техн. электродинамика. – 2010. – № 4. – С. 66 – 70.

2. *Левицький А.С., Новик А.И.* Уменьшение систематической погрешности емкостного датчика биений вала за счет изменения формы активного электрода // Техн. электродинамика. – 2011. – № 1. – С.83 – 87.

3. *Lin Jackson, Bissonnette Marc R.* A New Capacitive Proximity Probe Immune To Electrical Runout // Canadian Machine Vibration Association, 1997 Annual Meeting – Toronto, Canada – 3–5 November 1997. – P.1 – 5. http://www.vibrosystm.com/pdf/VW_F.PDF.

4. *А.с. 1536188 СССР, МПК G01B 7/00.* Емкостный измеритель расстояния до заземленной поверхности / Борщев П.И. и др. – №4433708/24 – 28; заявл. 31.05.88.; опубл. 15.01.90, Бюл. № 2.

5. *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, Dubrovnik, Croatia. – TC15. – P. 1965–1968. <http://www.imeko.org/publications/wc-2003/-PWC-2003-TC15-011.pdf>.

© Левицький А.С., 2011

