

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПЕРЕКОСУ ЕЛЕКТРОДІВ ЄМНІСНОГО СЕНСОРА БИТТЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ГІДРОГЕНЕРАТОРІВ НА ЙОГО ФУНКЦІЮ ПЕРЕТВОРЕННЯ

¹Інститут електродинаміки НАН України, Київ

Досліджено вплив перекосу поверхні, на якій розташовані електроди (чутливі елементи) ємнісного сенсора биття, на його функцію перетворення. Сенсор биття призначений для використання в системах контролю та діагностики фактичного технічного стану потужних гідрогенераторів. Показано, що під час монтажу сенсори биття можуть бути встановлені з відхиленнями відносно нормалі до поверхні, яка контролюється, або в наслідок технологічних похибок поверхня сенсорів може бути розташована під деяким кутом відносно осі сенсора, також відхилення можуть виникати в наслідок вібраційних або інших впливів під час експлуатації агрегату. Зазначено, що найбільше на функцію перетворення ємнісного сенсора биття впливає відхилення площини розміщення електродів відносно нормалі до осі поверхні вала. Для оцінки впливу перекосу на функцію перетворення ємнісних сенсорів биття використано схему розрахунку та проведено моделювання в середовищі Comsol Multiphysics. Проведені дослідження дозволили отримати функції перетворення для ємнісних сенсорів биття з плоскопаралельними електродами за різних кутів перекосу поверхні розташування електродів. Наведено результати експериментальних досліджень, які підтвердили правильність прийнятих аналітичних положень та даних, отриманих як результат комп'ютерного моделювання. Результати аналізу отриманих функцій перетворення дозволили визначити, що перекіс впливає на значення інформативної складової ємності вихідної величини ємнісних сенсорів биття та призводить до зміщення графіка функції перетворення на адитивну складову.

Ключові слова: генератор, ємнісний сенсор, перекіс, функція перетворення, система моніторингу.

Вступ

Гідроенергетика як зелена, відновлювана та чиста енергія, має велике значення для сприяння економічному розвитку, зменшенню забруднення та скорочення викидів парникових газів. Неправильне використання, несправності або пошкодження генерувального обладнання, потенційно можуть призвести до катастроф з негативними наслідками. Одним з ефективних способів виявлення несправностей та запобігання їхній появі є широке впровадження систем контролю та діагностики їхнього поточного технічного стану [1]—[8]. Класично в системах контролю і діагностування генерувального обладнання з обертовими вузлами застосовують методи вібраційного аналізу, в яких дані про частотний спектр вібрації є основним інструментом для аналізу стану обертового обладнання [9], [13]—[19]. Хоча вібраційний аналіз є поширеним підходом, знаходження джерела вібрації виключно на основі даних про амплітуду та частоту зазвичай є складною задачею. Для підвищення точності прийняття рішень під час проведення вібраційного аналізу [9]—[12] важливим є використання інших параметрів. Так, наприклад у [20] зазначено, що у випадку коли в спектрі вібрації найбільшою частотою є частота, що дорівнює частоті обертання вала (1X), то у більшості випадків проблема полягає в дисбалансі ротора. Неспіввісність вала викликає вібрацію подвоєної частоти обертання вала (2X). Зміна параметрів інших частот, присутніх в спектрі, може бути використана для прогнозування процесів зсуву вала до того, як з'явиться подвійна частота вібрації (2X). У [15] описано випадки, коли зсув чи биття вала не викликало зміну частотного спектра, такі випадки особливо є характерними для тихохідних гідроагрегатів. Овальність циліндр-

ричних ділянок вала може виникати з різних причин у процесі виготовлення ротора. Відхилення осі самого вала або його окремої ділянки від осі обертання ротора (неспіввісність). Необхідність забезпечення контролю радіального та торцевого биття поверхонь вала ротора, зумовлені технологічними похибками виготовлення і складання, а також пошкодженнями, які виникають в процесі експлуатації, наприклад, таких як знос підшипників [21]—[22]. За даними [13], зміна параметрів биття може допомогти виявити більшість дефектів гідроагрегатів, пов'язаних з обертовими елементами. Варто зазначити, що дисбаланс ротора часто спричинений неправильним центруванням, що підкреслює необхідність одночасного моніторингу процесів вібрації та вимірювань биття, для отримання достовірної інформації. Це дозволяє точніше ідентифікувати дійсну причину виникнення або розвитку дефекту в гідроагрегаті [23]—[25].

Визначити параметри биття можна різними методами, серед яких найоптимальнішими є безконтактні методи на основі електроємнісного перетворення [26]. Вони забезпечують високу точність і роздільну здатність вимірювання, довготривалу стабільність характеристик, а також можуть працювати в умовах дії електромагнітних полів та мають відносно невисоку вартість.

Використання ємнісних сенсорів биття та дослідження їхніх метрологічних характеристик розглянуто в роботах [22], [27], [29]. У результаті дослідження встановлено, що аналітично отримана в роботах [13] функція перетворення відповідає ідеальному розташуванню активного електрода сенсора відносно поверхні вала. У реальних умовах в процесі виготовлення ємнісних сенсорів биття в корпус та під час їхнього встановлення на машину можуть виникати такі дефекти, як ексцентриситет і перекіс. Ці дефекти пов'язані з неправильним встановленням електродів відносно нормалі до головної осі корпусу сенсора або осі вала гідрогенератора. Отже, під час встановлення сенсора на обладнання невідворотно виникають відхилення через неправильне розташування сенсора відносно поверхні вала, до прикладу, ексцентриситет і перекіс. У багатьох випадках вони можуть виникати одночасно, але зручніше розраховувати величину кожної похибки окремо, припускаючи, що інша при цьому дорівнює нулю. Ці відхилення впливають на інформативне значення вихідної величини, змінюючи її параметри, внаслідок чого виникає похибка у вимірюванні параметрів радіального та осевого биття вала.

На рис. 1 показано встановлення ємнісних сенсорів биття 1 на кронштейн 3 для вимірювання биття вала 2 в генераторі. Під час встановлення відхилення від заданого положення можуть виникати через неправильну фіксацію скоби або дефекти різьби. На рис. 2 показано зміщення поверхні чутливого елемента ємнісного сенсора 2 відносно нормалі 1 до корпусу 3 ємнісного сенсора биття на кут α .

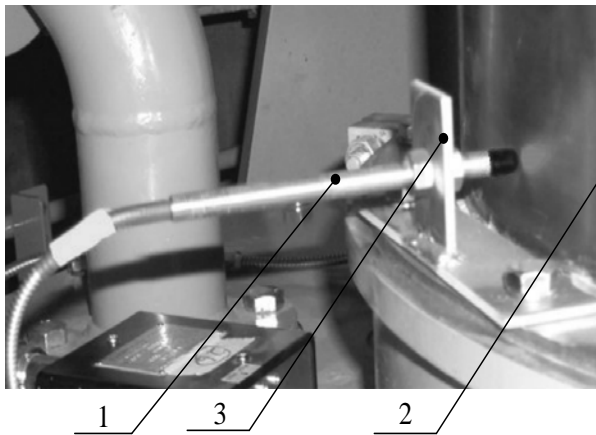


Рис. 1. Сенсор, встановлений на кронштейні

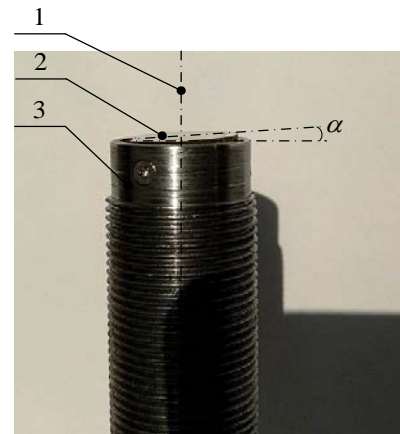


Рис. 2. Ємнісні сенсори биття

Метою роботи є створення моделі ємнісного сенсора радіального биття вала гідрогенератора з концентричними плоскопаралельними електродами для визначення впливу кута нахилу площини електродів сенсора засобами комп'ютерного моделювання на зміну вихідної величини сенсора в залежності від значення повітряного зазору між площиною сенсора та заземленою поверхнею вала.

Основна частина

Визначення похибки від перекосу площини електрода ємнісного сенсора відносно осі вала

Для знаходження залежності значення вихідної величини сенсора биття вала від перекосу площини розміщення електродів скористаймося результатами, отриманими в [13]. На рис. 3 показана

схема розрахунку. Згідно зі схемою, активний електрод сенсора 1 нахилений в наслідок неправильного встановлення на машині або в результаті допущених технологічних похибок на деякий кут α відносно поздовжньої циліндричної поверхні вала, яка в ідеальному випадку паралельна осі вала 2, тобто розташований з деяким перекосом відносно свого заданого положення. У цьому випадку ємність C_x між електродом 1 і поверхнею вала 2 буде відрізнятися від ємності C_0 між ними в ідеальному положенні, тобто без перекосу. У цьому випадку функціональна залежність впливу перекосу на функцію перетворення ємнісних сенсорів биття вала розраховується як різниця між C_x і C_0 залежно від кута перекосу α .

Для проведення розрахунків введемо систему координат XYZ таким чином, щоб площина XOY проходила через край пластини сенсора 1 (точка O), паралельно горизонтальній площині симетрії вала 2. Проекція круглої пластини радіусом r на площину XOY буде еліпсом з великою піввіссю $a = r$, малою піввіссю $b = r \cos \alpha$ і координатами центру $x_{O_1} = 0$ та $y_{O_1} = r \cos \alpha$ (точка O_1)

На площині XOY в області, обмеженій еліпсом (область D), виберемо елементарну площадку 3 з нескінченно малими розмірами Δx , Δy і координатами x_i і y_i . Проекція площадки 3 на площину електрода 1 також буде елементарною площадкою, а ємність між нею та валом 2 буде дорівнювати

$$\Delta C_i = \epsilon_0 \epsilon \frac{\Delta x \Delta y}{|z_i|}. \quad (1)$$

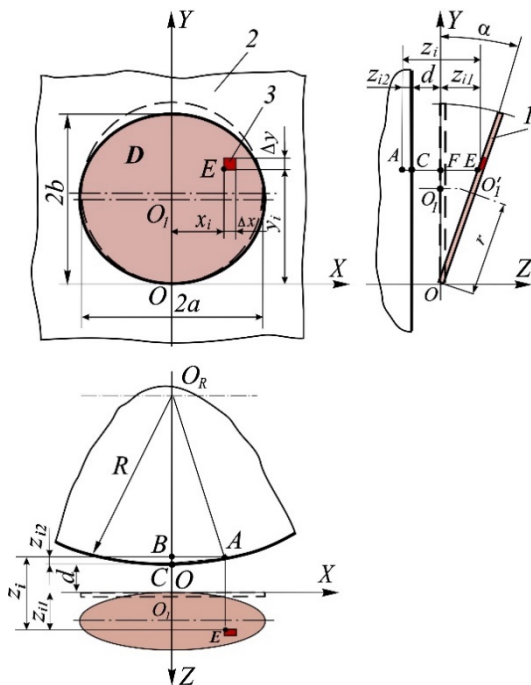


Рис. 3. Схема розрахунку похибки перекосу та її впливу на функцію перетворення ємнісних сенсорів биття вала

На рис. 3 показано, що абсолютне значення відстані обчислюється як $|z_i| = z_{i1} + d + |z_{i2}|$.

Використовуючи співвідношення в прямокутному трикутнику EFO (рис. 3), матимемо, що $z_{i1} = y_i \tan \alpha$. Використовуючи співвідношення в прямокутних трикутниках між O_RAB та ABC , визначимо

$$|z_{i2}| = d + R - \sqrt{R^2 - x_i^2}, \quad (2)$$

де d — відстань, яку вимірюємо; R — радіус вала; x_i, y_i — координати елементарної площадки 3 на площині XOY в області D, обмеженій еліпсом.

Тоді зміна ємності ΔC в результаті перекосу активного електрода буде визначатися як:

$$\Delta C_i = \epsilon_0 \epsilon \frac{\Delta x \Delta y}{y_i \tan \alpha + d + R - \sqrt{R^2 - x_i^2}}. \quad (3)$$

Використання формулу (3) обмежено ідеальними умовами, тобто без врахування кривизни поверхні вала. Для врахування конструктивних особливостей зони контролю параметрів биття

вала необхідним є значний обсяг аналітичних розрахунків та фізичного моделювання на натурних прототипах. Проведення таких досліджень, зважаючи на складність енергетичних об'єктів, особливо потужних генераторів, є не тільки складним у реалізації, а й тривалим процесом, який вимагає залучення значних фінансових та людських ресурсів [22]. Використання засобів комп'ютерного моделювання дозволяє підвищити достовірність отримання набагато більшого обсягу інформації щодо поведінки системи та процесів, ніж це можна досягти у реальному експерименті, використовуючи однакові часові та фінансові ресурси.

Результати дослідження впливу перекосу ємнісних електродів на функцію перетворення ємнісного сенсора за допомогою комп'ютерного моделювання

На рис. 4 показана розроблена схема комп'ютерної моделі ємнісного сенсора з плоскопаралельними електродами. Схема використана під час проведення комп'ютерного моделювання для визначення впливу перекосу електродів сенсора.

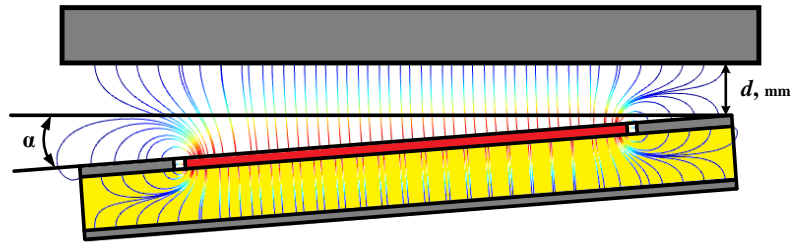
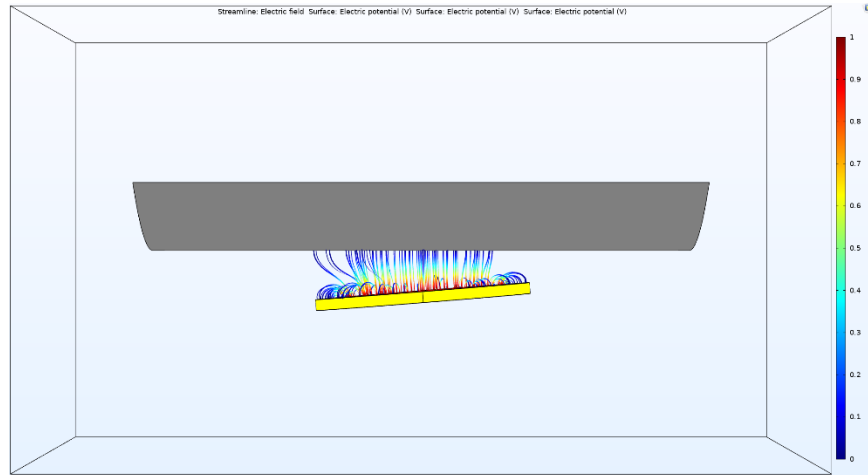


Рис. 4. Схема ємнісного сенсора з плоскопаралельними електродами

На рис. 5 показано імітаційну CAD-модель сенсора, розроблену з використанням методу скінчених елементів в середовищі комп'ютерного моделювання Comsol Multiphysics.

Рис. 5. Модель для визначення зміни значення ємності сенсора C_m від кута нахилу α відносно поздовжньої осі вала

Результат аналізу визначення впливу перекосу сенсора на визначення значення вихідної величини сенсора биття вала в Comsol Multiphysics показав, що вихідна величина ємнісного сенсора залежить від відстані до заземленої поверхні вала та кута перекосу електродів сенсора. Під час проведення досліджень значення кута перекосу α змінювалося в межах $0 \dots 0,08$ рад. Діаметр вала вибирався з урахуванням фактичних розмірів вала капсульного гідрогенератора типу СГК-538/70М. Відстань робочого електрода сенсора до заземленої поверхні вала змінювалася в межах $0,3 \dots 2,3$ мм.

На рис. 6 показано розподіл ліній еквіпотенціального поля ємнісного сенсора у разі відхилення його робочого електрода від осьової лінії вала на максимальну величину $0,08$ рад.

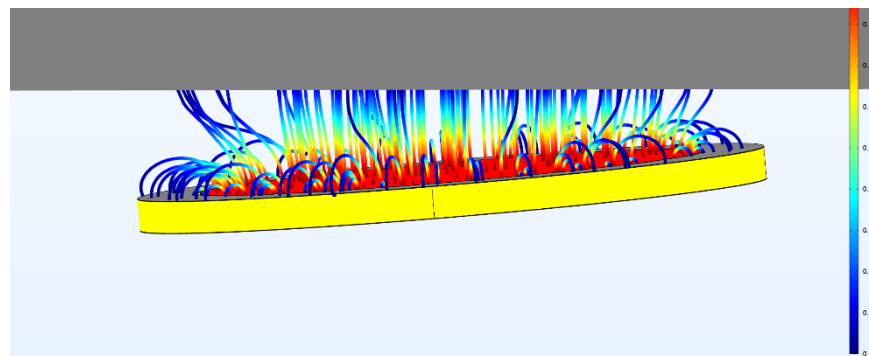


Рис. 6. Графік ліній розподілу еквіпотенційного поля ємнісного сенсора

На рис. 7 подано результати дослідження впливу кута перекосу α площини розміщення електродів ємнісного сенсора на значення вихідної величини ємнісного сенсора C_m в залежності від відстані до заземленої поверхні вала d .

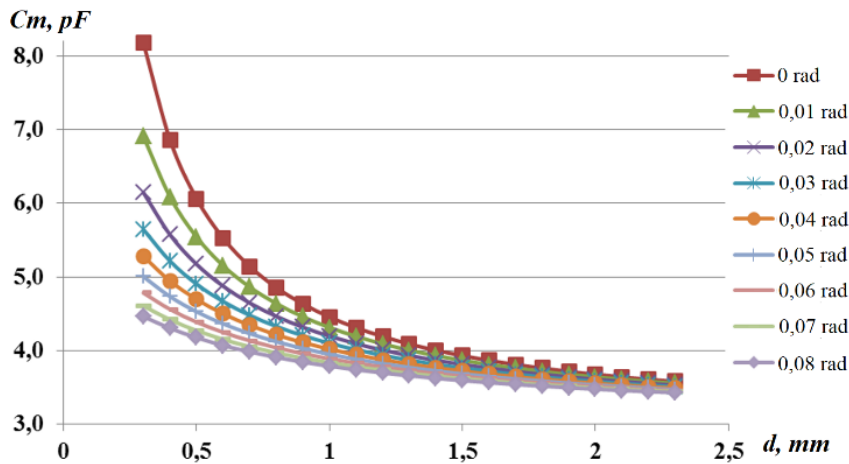


Рис. 7. Залежність ємності C_m між високопотенціальним електродом і заземленою поверхнею вала в залежності від зміни кута нахилу α

Функція перетворення сенсора з плоскопаралельними електродними має нелінійний характер, для отримання майже прямопропорційної залежності вихідного інформативного параметра досліджуваного сенсора від зміни відстані до заземленої поверхні розраховано обернені залежності до сімейства функцій $C_x = f(d_x)$ (рис.7), які показано на рис. 8.

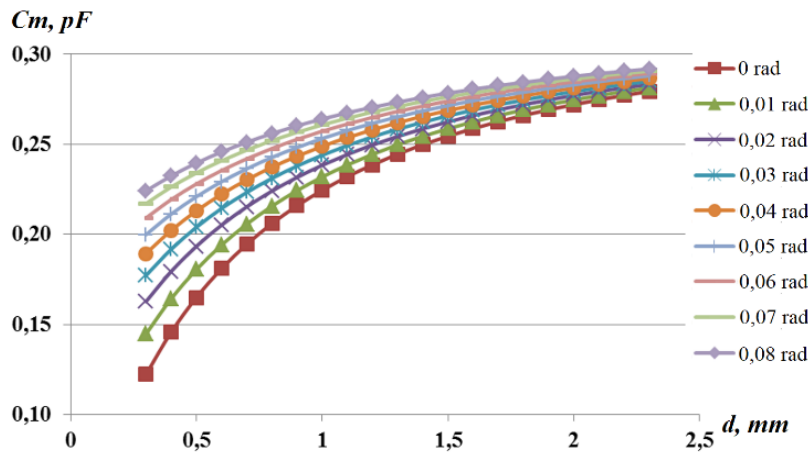


Рис. 8. Графік обернено пропорційної залежності ємності C_m між високопотенціальним електродом і заземленою поверхнею вала у разі зміни кута нахилу сенсора α

Як видно з отриманих результатів (рис. 7 та рис. 8), різниця між значенням ємності C_0 (кут перекосу $\alpha = 0$) та ємністю C_m збільшується зі збільшенням кута перекосу α . Це пояснюється значним впливом крайових ефектів торцевої поверхні електродів.

Залежність вихідного значення від кута перекосу α має адитивний характер і може бути врахована під час проведення розрахунків у вторинних вимірювальних перетворювачах. Збільшення відстані між поверхнею електродів і заземленою поверхнею вала призводить до зменшення впливу кута перекосу α на вихідне значення сенсора.

Результати експерименту

Для підтвердження правильності прийнятих аналітичних положень та отриманих даних шляхом комп'ютерного моделювання використано зразок сенсора з геометрією та розмірами електродів чутливих елементів прийнятими під час проведення попередніх досліджень. На рис. 9 показано випробувальний стенд для визначення впливу кута перекосу α встановлення чутливого елемента сенсора на функцію перетворення ємнісного сенсора биття. Для визначення функції перетворення використовувався вимірювальний міст EUCOL 2836 LCR METER з відносною похибкою 0,05 %.

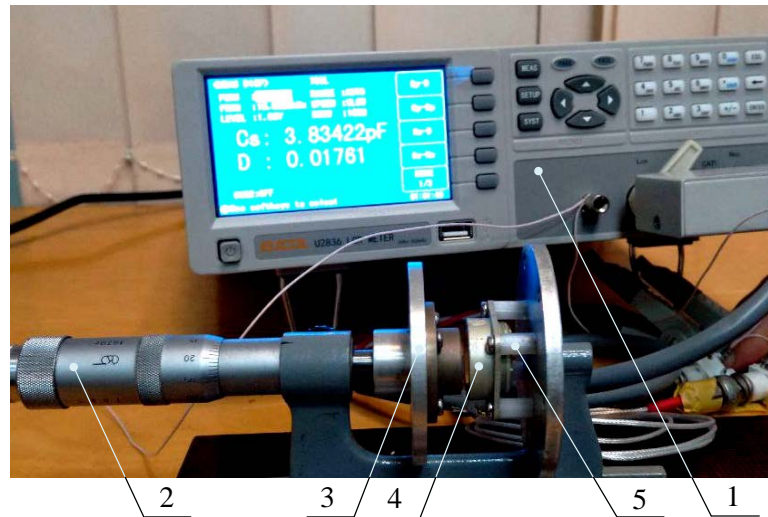


Рис. 9. Випробувальний стенд: 1 — міст вимірювального LCR METER; 2 — мікрометр для вимірювання відстані між заземленою поверхнею і поверхнею електродів сенсора; 3 — заземлена поверхня для імітації поверхні вала; 4 — чутливий елемент ємнісних сенсорів в корпусі; 5 — гвинт регулювання кута перекосу

Під час експерименту визначали електричну ємність C_e між чутливим елементом 4, поверхня якого нахилена відносно поверхні 3 під кутом перекосу α , значення якого задавалось за допомогою гвинта 4. Відстань від 0,3 до 2,3 мм до поверхні 3 від точки контакту між поверхнями 3 і найвищою точкою поверхні 4 встановлювалась за допомогою мікрометра 2. На рис. 10 показано результати досліджень впливу кута перекосу $\alpha = 0,01$ рад на функцію перетворення, визначену експериментально C_e та моделюванням C_m .

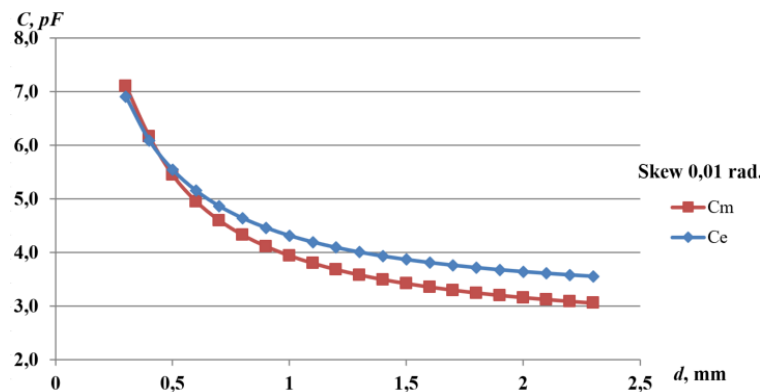


Рис. 10. Результати вимірювання C_e та моделювання C_m , коли $\alpha = 0,01$

На рис. 11 показаний результат для випадку, коли кут перекосу $\alpha = 0,08$ рад.

Різниця між результатами (рис. 10 та рис. 11) експериментальних та модельних розрахунків зумовлена паразитною ємністю фольгованого текстоліту.

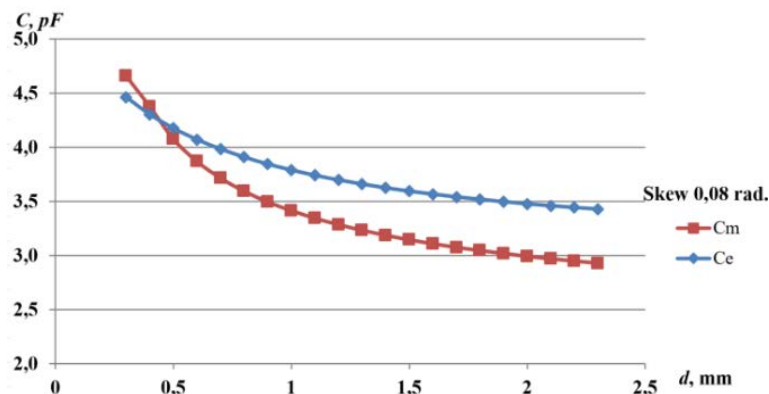


Рис. 11. Результати вимірювання C_e та моделювання C_m , коли $\alpha = 0,08$

Висновки

Досліджено вплив перекосу електродів сенсора на вихідну величину функції перетворення ємнісних сенсорів биття з використанням середовища комп'ютерного моделювання Comsol Multiphysics. Результати аналізу, показують, що: перекіс має прямий вплив на вихідну величину ємнісних сенсорів биття. Дослідження підтвердили, що зі збільшенням кута перекосу чутливого елемента сенсора значення його ємності також збільшується, що призводить до похибки. Встановлено, що похибка від перекосу має адитивний характер.

Робота виконана за держбюджетною темою «Розширення функціональних можливостей та підвищення метрологічних характеристик засобів вимірювання в системах моніторингу і діагностування в електроенергетиці» Шифр «ПАРАМЕТР-Д», реєстраційний номер (0122U000136) та проектом Національного фонду досліджень України «Моделі і засоби підвищення ефективності роботи гідро- та гідроакумулювальних електростанцій для балансування ОЕС України в умовах ринку електричної енергії та особливих технологічних обмежень» з виконання наукових досліджень і розробок «Наука для відбудови України у воєнний та повоєнний періоди» (номер 2022.01/0069).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] V. I. Smirnov, *Methods and means of functional diagnostics and control of technological processes based on electromagnetic sensors*, Ulyanovsk State Technical University, 2001, p. 190.
- [2] L. Zhaohui, Y. Ai, and S. Huixuan, "Optimal maintenance information system of gezhouba hydro power plant," in *Proc. of the 2007 IEEE power engineering society general meeting*, pp.1-5, Tampa, FL, USA, 23 July 2007, <https://doi.org/10.1109/PES.2007.385722>.
- [3] *Condition Management System for Hydro-Turbine Generators. An Application Guide*. [Electronic resource]. Available: <http://www.fr-eps.com/docs/Bently-Nevada-CMS-HydroTurbine-brochureEN.pdf>.
- [4] *Condition monitoring solutions for hydroelectric power generation*. [Electronic resource]. Available: https://dam.bakerhughesds.com/m/65bbcaf2f9e27e6a/n_original/BHCS13978Hydro_Brochure_R2-pdf.pdf.
- [5] *Bently Nevada 3500 Series Machinery Monitoring System*. [Electronic resource]. Available: <https://www.instrumart.com/productsets/425/bently-nevada-3500-series-machinery-monitoring-system>.
- [6] *Bently Nevada 3500 Vibration Monitoring System*. [Electronic resource]. Available: https://www.ge.com/content/dam/gepower-pgdp/global/en_US/documents/technical/upgrade-documents/GEA32070ABentlyNevada3500-US-R1-LR.pdf.
- [7] *2300 Vibration Monitors. Product Datasheet. Bently Nevada Asset Condition Monitoring*. [Electronic resource]. Available: <https://www.instrumart.com/assets/2300-Datasheet.pdf>.
- [8] Bently Nevada 2300 Vibration Monitor Series. [Electronic resource]. Available: <http://www.shurhay.com/pdf/2300-fact-sheet-gea31447d.pdf>.
- [9] R. B. Randall, *Vibration signals from rotating and reciprocating machines. Vibration-based condition monitoring*. New York, 289 p., 2011.
- [10] ISO 20816-1:2016. *Mechanical vibration. Measurement and evaluation of machine vibration. Part 1: General guidelines* ISO79. Released: 2016-11-30. ISO/TC 108/SC 2 Measurement and evaluation of mechanical vibration and shock as applied to machines, vehicles and structures, 2016.
- [11] C. Trivedi, M. J. Cervantes, and B. K. Gandhi, "Investigation of a high head francis turbine at runaway operating conditions," *Energies*, vol. 9, p.149, 2016. <https://doi.org/10.3390/en9030149>.
- [12] G. C. B. Junior, R. D. Machado, A. C. Neto, and M. F. Martini, "Experimental aspects in the vibration-based condition monitoring of large hydrogenerators," *International Journal of Rotating Machinery*, vol. 1, 14 p, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/1805051>.
- [13] A. S. Levytskyi, G. M. Fedorenko, and O. P. Gruboi, "Control of the state of powerful hydro and turbogenerators by means of capacitive measuring instruments of mechanical defects parameters," Kyiv: IED NANU, 2011, 242 p.
- [14] V. I. Bryzgalov, and L. A. Gordon, *Hydropower plant*. Krasnojarsk: IPC KGTU, 2002.
- [15] B. A. Alekseev, Determining the status (diagnostics) of large hydro generators. ENAS, 2002, 144 p.
- [16] A. V. Beloglazov, *Development of adaptive tools for fault diagnostics and strategies for servicing hydrogenerator*. Novosibirsk, 2011.
- [17] ISO 7919-5:2005. *Mechanical vibration. Evaluation of machine vibration by measurements on rotating shafts*. Part 5: *Machine sets in hydraulic power generating and pumping plants*. Released: 2005-04. ISO/TC 108/SC 2 Measurement and evaluation of mechanical vibration and shock as applied to machines, vehicles and structures, 2005.
- [18] ISO 13381-1:2015. *Condition monitoring and diagnostics of machines. Prognostics. Part 1: General guidelines*. Released: 2015-09. ISO/TC 108/SC 5 Condition monitoring and diagnostics of machine systems, 2015.
- [19] K. Zhuang, S. Huang, X. Fu, and L. Chen, "Nonlinear hydraulic vibration modeling and dynamic analysis of hydro-turbine generator unit with multiple faults," *Energies*, vol. 15, p. 3386, 2022. <https://doi.org/10.3390/en15093386>.
- [20] I. Zaitsev, and V. Berezyuchenko, "Condition monitoring and fault diagnosis systems of power generators with non-contact shaft runout electrocapacitive transducer," in *2023 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek-2023)*, 7-10 Oct. 2024, Kharkiv, Ukraine. pp. 1-6, 10.1109/KhPIWeek61412.2023.10311584.
- [21] R. J. Muhammad, and S. A. R. Khaled, "Vibration measurement of a rotating shaft using electrostatic sensor," *Int. J. Recent Technol. Eng.*, vol. 10, pp. 97-105, 2021.
- [22] I. Zaitsev, A. Levytskyi, and V. Berezyuchenko "Hybrid diagnostics systems for power generators faults: systems design principle and shaft run-out sensors," in *Power systems research and operation: Selected problems*, Kyrylenko O., Zharkin A. and

other. Eds., Springer, 2021, pp. 71-98. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82926-1_4 .

[23] V. L. Gerike, *Monitoring and diagnostics of the technical condition of machine units*, KuzGTU, 1999, 230 p.

[24] I. A. Glebov, V. V. Dombrovsky, A. A. Dukshau, A. S. Paper, G. B. Pinsky, and E. V. Shkolnik, *Hydrogenerators, Energoizdat*, 368 p., 1982.

[25] F. Rolim, A. Tetreault, and R. Marshall, "Air gap monitoring system key element to correctly diagnose generator problems," in *Proc. II ENAM, Belém city, Para state, Brazil*, 9 p., 2004.

[26] А. С. Левицький, С. О. Зайцев, В. О. Березниченко, «Відносна та абсолютна радіальна вібрація вала вертикального гідроагрегата.» *Гідроенергетика України*, № 3-4, с. 36-39, 2019.

[27] I. Zaitsev, A. Levytskyi, and V. Bereznychenko, "Analysis of the technological production defects influence on response function of shaft run-out sensor for generator fault diagnosis system," in *2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, Lviv, Ukraine, 2021, pp. 435-438, <https://doi.org/10.1109/UKRCON53503.2021.9575886> .

[28] I. Zaitsev, "Shaft run-out optical remote sensing system for large generator fault diagnosis," in *Ukraine International conference on electrical and computer engineering (UKRCON-2021)*, 26-28 August, 2019 Lviv, Ukraine. pp. 339-342. <https://doi.org/10.1109/UKRCON53503.2021.9575432> .

[29] I. O. Zaitsev, A. S. Levytskyi, A. I. Novik, V. O. Bereznychenko, and A. M. Smyrnova, "Research of a capacitive distance sensor to grounded surface," *Telecommunications and Radio Engineering*, vol. 78(2), pp. 173-180, 2019, <https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v78.i2.80> .

Рекомендована редколегією журналу «Вісник Вінницького політехнічного інституту» ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 3.06.2024

Закусило Сергій Анатолійович — аспірант відділу теоретичної електротехніки та діагностики електротехнічного обладнання, e-mail: sergy_zakusilo@i.ua ;

Березниченко Вікторія Олександрівна — д-р філософії, науковий співробітник відділу теоретичної електротехніки та діагностики електротехнічного обладнання, e-mail: vika.bereznichenko@i.ua .

Інститут електродинаміки НАН України, Київ

S. A. Zakusilo¹
V. O. Bereznychenko¹

Analysis of the Skewness of the Electrodes of Runout Capacitive Sensor of Hydro Generators Condition Monitoring System Impact on its Conversion Function

¹Institute of Electrodynamics of the NAS of Ukraine, Kyiv

In the paper the impact of the skewness of the surface where the electrodes (sensitive the elements) of the runout capacitive sensor are located on its conversion function is considered. The sensor is designed for the usage in control and diagnostics systems of the actual technical condition of high-power hydro generators. During the assembly runout capacitive sensors may be installed with deviations relatively the normal to the surface, which is controlled, or as a result of technological errors the surface of the sensors may be located under certain angle to the shaft axis, also deviations may occur as a result of vibration or other impacts in the process of operation. It is noted that the response function of the runout capacitive sensor is greatly influenced by the deviation of the planes of electrodes location relatively the axis of the shaft surface. To assess the effect of influence of the skew error on the runout capacitive sensors response function stability, a calculation scheme was used and simulations were conducted in the Comsol Multiphysics environment. The research conducted enabled to obtain response functions for runout capacitive sensors with plane-parallel electrodes at different skewness angles of the surface of the electrodes location. Results of the experimental studies proved the correctness of the analytical propositions and data, obtained as a result of computer simulation. The results of the analysis of the obtained response functions enabled to determine that the skewness influences the value of the informative component of the capacitance of the output value of response function of the runout capacitive sensors informative capacity of the output value of runout capacitive sensors and leads to the shift of the graph of the response function on additive component.

Keywords: generator, runout, capacitive sensor, skewing, response function, monitoring system.

Zakusilo Sergiy A. — Post-Graduate Student of the Department of Theoretical Electrical Engineering and Diagnostics of Electrical Equipment, e-mail: sergy_zakusilo@i.ua ;

Bereznychenko Viktoriia O. — PhD, Researcher of the Department of Theoretical Electrical Engineering and Diagnostics of Electrical Equipment, e-mail: vika.bereznichenko@i.ua