

УДК 621.317.7

В.Г. Мельник, канд. техн. наук, **Л.М. Семеничева**, мол. наук. співроб.

Інститут електродинаміки НАН України,

пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна

Новий спосіб визначення похибок та їх корекції в універсальних мостах змінного струму

Запропоновано та обґрунтовано новий спосіб визначення характеристики систематичних похибок багатofункціональних і ширококутjових вимірювачів параметрів комплексних опорів, заснований на виділенні із загальної похибки приладу окремих складових, пов'язаних зі змінами станів перетворювачів вимірювального каналу в різних режимах роботи пристрою. Показано можливість оцінити реальні похибки приладів у будь-якій точці діапазонів вимірюваних параметрів і скорегувати ці похибки в процесі обробки результатів вимірювань при невеликій кількості операцій повірки з застосуванням обмеженого набору широкодоступних зразкових мір з високими метрологічними характеристиками. Бібл. 9, рис. 4.

Ключові слова: універсальний вимірювач імітансу, корекція похибок.

V.G. Melnyk, L.N. Semenycheva

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,

Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine

New method of the definition and correction errors procedure in universal ac bridge

The new method for determining the characteristics of systematic errors for the multirange and multiparameter meters of complex impedances is proposed and well-founded. It is based on the separation from the total error of a device of independent components, related to changes in the state of converters of measuring channel in different modes of operation. The possibility is shown to evaluate the real error of devices in any point of the ranges of measured parameters and to correct these errors in the processing of the measurement results using a small number of testing operations and with the limited set of the standards which are widely spread. References 9, figures 4.

Key words: universal LCR meter, the correction of errors.

Надійшла 12.01.2016

Received 12.01.2016

УДК 621.586.772

ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІЇ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЄМНІСНОГО СЕНСОРА ПОВІТРЯНОГО ЗАЗОРУ В ГІДРОГЕНЕРАТОРІ СГК 538/160-70М

А.С. Левицький, докт. техн. наук, **Є.О. Зайцев**, канд. техн. наук, **Б.А. Кромпляс**, канд. техн. наук

Інститут електродинаміки НАН України,

пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03380, Україна

e-mail: krbog@ied.org.ua

Визначено аналітично та перевірено експериментально функцію перетворення ємнісного сенсора переміщення з компланарними паралельними електродами. Сенсор призначено для вимірювання переміщення плоскої заземленої поверхні відносно загальної поверхні електродів. Вибрано оптимальну геометрію електродів сенсора з метою його застосування на капсульному гідрогенераторі СГК 538/160-70М як вимірювача повітряного зазору між полюсом ротора та розточенням осердя статора. Бібл. 3, рис. 3.

Ключові слова: вимірювання, ємність, переміщення, гідрогенератор, повітряний зазор.

Для вимірювання статичних та динамічних взаємних зміщень двох металевих поверхонь може бути використаний ємнісний сенсор з двома паралельними компланарними електродами. Типовим прикладом таких поверхонь є поверхня розточення осердя статора та поверхня полюса ротора в гідрогенераторі. Якщо два паралельні компланарні електроди розмістити через ізолюючий проміжок на розточенні осердя статора, то при зміні повітряного зазору між поверхнею електродів та заземленим полюсом ротора буде змінюватись електрична ємність між електродами.

Метою цієї роботи є визначення функції перетворення ємнісного сенсора повітряного зазору з зазначеною формою електродів, розрахованого для застосування в капсульному гідрогенераторі СГК 538/160-70М.

Конструктивна схема сенсора показана на рис. 1. Сенсор складається з таких основних частин: високопотенціального електрода 1 довжиною L_1 ; низькопотенціального електрода 2 довжиною L_2 ; низькопотенціального охоронного електрода 3; діелектричної підкладки 4; металеві підкладки 5, яка встановлюється на заземлену поверхню розточення осердя статора.

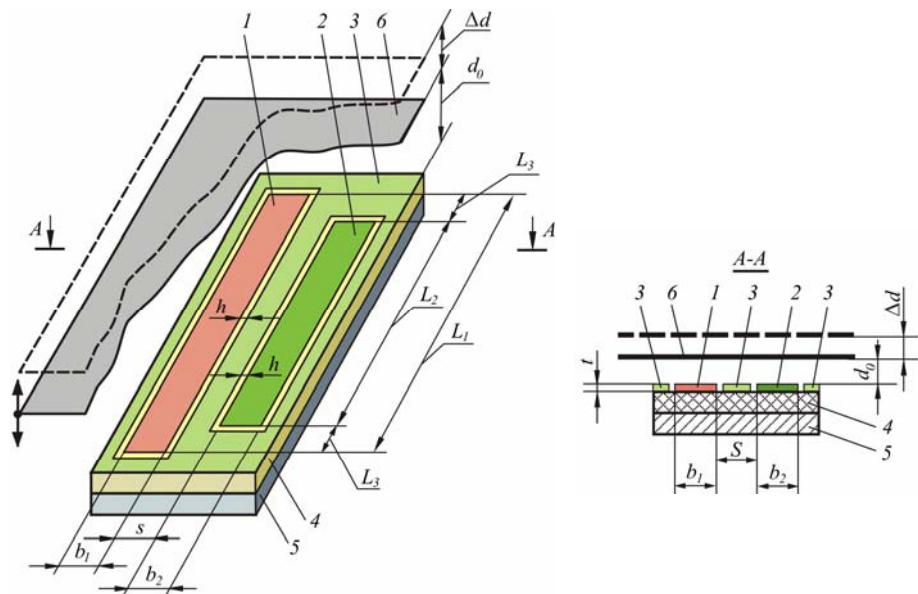


Рис. 1

Електрична ємність C_{12} між електродами 1 і 2 буде змінюватись при переміщенні заземленої поверхні полюса ротора 6. У початковому положенні поверхня 6 знаходиться від площини електродів 1 і 2 на відстані d_0 (номінального значення зазору в гідрогенераторі СГК 538/160-70М). Якщо довжина L_1 електрода 1 вибрана з умови $L_1 = L_2 + 2L_3$, $L_3 \geq d_0$ (рис. 1), а проміжки h між електродами 1 і 2 та електродом 3 є нескінченно малими, то електричне поле між електродами 1 і 2 у кожному перетині, перпендикулярному їх довжині, буде двовимірним і матиме однакову форму. До того ж на коротких сторонах електродів 1 і 2 буде зменшено вплив крайових ефектів.

Зменшення проміжків h до малих значень можна досягти завдяки застосуванню методу фотолітографії для утворення електродів 1, 2 і 3 з тонкої металеві плівки.

Визначимо, як буде змінюватись ємність C_{12} зі зміною відстані $d = d_0 \pm \Delta d$, тобто $C_{12} = f(d)$. Для розрахунку C_{12} припустимо: що довжина L_1 високопотенціального електрода 1 є нескінченно великою; довжина L_3 низькопотенціального охоронного електрода 3 є нескінченно великою; паразитна ємність $C_{12П}$ між електродами 1 і 2 дорівнює нулю; проміжки h між електродами 1 і 2 та електродом 3 є нескінченно малими; товщина t металеві плівки, з якої утворені електроди 1, 2 і 3, є нескінченно малою.

Як відомо з [1–3], ємність на одиницю довжини C_{L12} між електродами 1 і 2 такої системи електродів може бути визначена за формулою

$$C_{L12} = \frac{\pi \varepsilon_0 \varepsilon_r}{\pi} \ln \frac{\left(\operatorname{th} \frac{\pi s}{4d} + \operatorname{th} \frac{\pi(s+2b_2)}{4d} \right) \left(\operatorname{th} \frac{\pi s}{4d} + \operatorname{th} \frac{\pi(s+2b_1)}{4d} \right)}{2 \operatorname{th} \frac{\pi s}{4d} \left(\operatorname{th} \frac{\pi(s+2b_2)}{4d} + \operatorname{th} \frac{\pi(s+2b_1)}{4d} \right)}, \quad (1)$$

де $\varepsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – діелектрична проникність вакууму; $\varepsilon_r = 1,00056$ – відносна діелектрична проникність повітря; b_1 – ширина електрода 1; b_2 – ширина електрода 2; s – відстань між електродами 1 і 2; d – відстань між площиною електродів 1 і 2 та поверхнею 6.

Аналіз формули (1) показує таке: коли відстань d прямує до нуля ($d \rightarrow 0$), то $C_{L12}|_{d=0} = 0$; ширина b_1 і b_2 електродів 1 і 2 є нескінченно малою ($b_1 = b_2 = 0$), то $C_{L12}|_{b_1=b_2=0} = 0$; ширина s охоронного заземленого електрода між електродами 1 і 2 є нескінченно великою

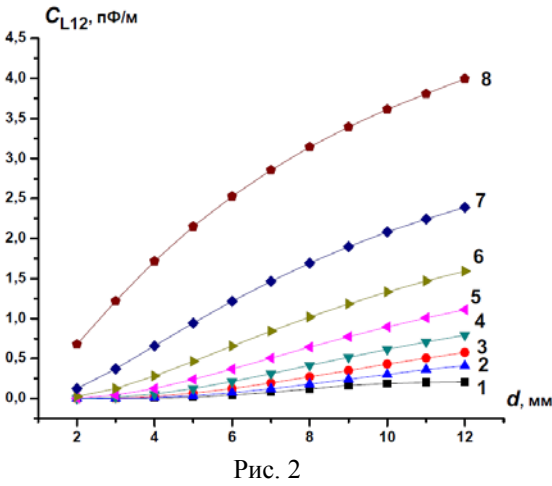


Рис. 2

($s = \infty$), то $C_{L12|s=\infty} = 0$; ширина s охоронного заземленого електрода між електродами 1 і 2 є нескінченно малою ($s = 0$), то $C_{L12|s=0} = 0$; відстань d між площиною електродів 1 і 2 є нескінченно великою ($d = \infty$), то

$$C_{L12|d \rightarrow \infty} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{\pi} \ln \frac{(s + b_1)(s + b_2)}{s(s + b_1 + b_2)}; \quad (2)$$

загальна ширина сенсора постійна ($b_1 + b_2 + s = const$), вибір рівної ширини електродів 1 і 2 ($b_1 = b_2 = b$) призводить до оптимального значення для ємності C_{L12} , яка може бути визначена за формулою

$$C_{L12} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{\pi} \ln \frac{\left(\operatorname{th} \frac{\pi s}{4d} + \operatorname{th} \frac{\pi(s + 2b)}{4d} \right)^2}{4 \operatorname{th} \frac{\pi(s + 2b)}{4d} \operatorname{th} \frac{\pi s}{4d}}; \quad (3)$$

ширина електродів 1 і 2 є нескінченно великою ($b_1 = b_2 = \infty$), то

$$C_{L12|b_1=b_2=\infty} = -\frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{\pi} \ln(1 - e^{-\pi s/d}). \quad (4)$$

Графіки залежності $C_{L12} = f(d)$, розраховані за допомогою (3) для різних співвідношень b і s , відображені на рис. 2, де 1 – $b = 9$ мм, $s = 8$ мм, $b/s = 1,25$; 2 – $b = 9,5$ мм, $s = 7$ мм, $b/s = 1,36$; 3 – $b = 10$ мм, $s = 6$ мм, $b/s = 1,67$; 4 – $b = 10,5$ мм, $s = 5$ мм, $b/s = 2,1$; 5 – $b = 11$ мм, $s = 4$ мм, $b/s = 2,75$; 6 – $b = 11,5$ мм, $s = 3$ мм, $b/s = 3,83$; 7 – $b = 12$ мм, $s = 2$ мм, $b/s = 6$; 8 – $b = 12,5$ мм, $s = 1$ мм, $b/s = 12,5$. Для сенсора зазору може бути використана характеристика зі співвідношенням $b/s = 6$ (рис. 2, графік 7).

Конструктивні особливості зубців осердя статора гідрогенератора СГК 538/160-70М дають змогу розмістити на зубці сенсор зазору з розмірами (рис. 1): $b_1 = b_2 = b = 12$ мм, $s = 2$ мм, $L_1 = 200$ мм, $L_2 = 180$ мм. Розрахуємо ємність C_{12} такого сенсора залежно від зміни зазору d . З урахуванням (3) ємність сенсора, в якому низькопотенціальний електрод 2 має довжину L_2 , визначиться за формулою

$$C_{12} = C_{L12} L_2 = L_2 \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{\pi} \ln \frac{\left(\operatorname{th} \frac{\pi s}{4d} + \operatorname{th} \frac{\pi(s + 2b)}{4d} \right)^2}{4 \operatorname{th} \frac{\pi(s + 2b)}{4d} \operatorname{th} \frac{\pi s}{4d}}. \quad (5)$$

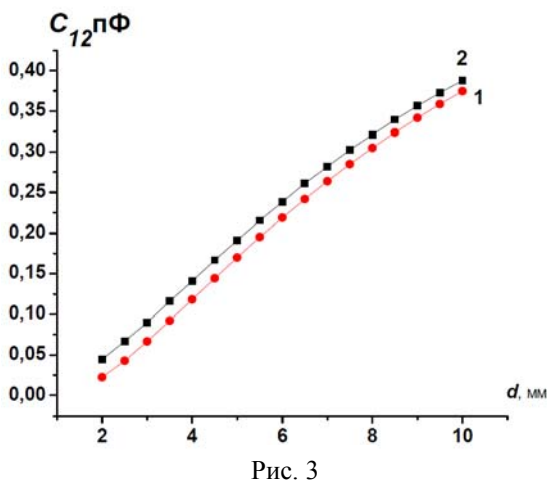


Рис. 3

На рис. 3 зображено графіки залежності $C_{12} = f(d)$ для сенсора з розмірами $b = 12$ мм, $s = 2$ мм та $L_2 = 180$ мм: 1 – розрахований з використанням формули (5); 2 – отриманий експериментально. Різниця в графіках 1 і 2 зумовлена додаванням паразитної ємності $C_{П12}$ між електродами 1 і 2 через діелектричну підкладку 4. Точно розрахувати $C_{П12}$ неможливо через неоднорідність прошарків підкладки.

З викладеного можна зробити такі висновки:

1. Теоретичні та експериментальні результати з визначення функції перетворення сенсора з компланарними паралельними електродами підтверджують можливість практичного використання сенсора.

2. Отримані результати дають змогу оптимізувати конструкцію сенсора для застосування у вимірювачі повітряного зазору між полюсом ротора та розточенням осердя статора в капсульному гідрогенераторі СГК 538/160-70М.

1. Горбова Г.М. Приборы контроля линейных микроперемещений на основе бесконтактных электроемкостных трехэлектродных первичных измерительных преобразователей: Дис. ... докт. техн. наук. – Барнаул, 2003. – 289 с.
2. Иоссель Ю.Я., Кочанов Э.С., Струнский М.Г. Расчет электрической емкости. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. – 288 с.
3. Gorbova G.M., Gorbov M.M., Meijer G.C.M. Analysis capacitance and linearity gauge characteristic of coplanar micro-displacement sensor // Proceeding XVII IMECO World Congress, June 22–27, 2003, Dubrovnic, Croatia. – TC15. – P. 1965–1968.

УДК 621.586.772

А.С. Левицкий, докт. техн. наук, **Е.А. Зайцев**, канд. техн. наук, **В.А. Кромпляс**, канд. техн. наук
Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина

Определение функции преобразования емкостного сенсора воздушного зазора в гидрогенераторе СГК 538/160-70М

Определена аналитически и экспериментально проверена функция преобразования емкостного сенсора перемещений с компланарными параллельными электродами. Сенсор предназначен для измерения перемещения плоской заземленной поверхности относительно общей поверхности электродов. Выбрана оптимальная геометрия электродов сенсора с целью его применения на капсульном гидрогенераторе СГК 538 / 160-70М как измерителя воздушного зазора между полюсом ротора и расточкой сердечника статора. Библ. 3, рис. 3.

Ключевые слова: измерение, емкость, перемещение, гидрогенератор, воздушный зазор.

A.S. Levytskyi, E.A. Zaitsev, V.A. Kromplyas

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine

Determination of the response characteristic of the capacitive sensor of the air gap in the hydrogenerator СГК 538/160-70М

Response characteristic of capacitive displacement sensor with coplanar parallel electrodes is determined analytically and experimentally verified. The sensor is designed to measure the displacement of the ground plane relative to the total electrode surface. The optimal geometry of the sensor electrodes with a view to its use on bulb hydrogenerators СГК 538 / 160-70М as meter of the air gap between the rotor pole and the reboring of the stator core is defined. References 3, figures 3.

Key words: measurement, capacitance, displacement, hydrogenerator, air gap.

Надійшла 11.03.2016

Received 11.03.2016