

КОНТРОЛЬ І ДІАГНОСТИКА ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ

УДК 620.179.16

УЛЬТРАЗВУКОВА СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПОРЦЕЛЯНОВИХ ІЗОЛЯТОРІВ

¹⁾Галаган Р. М., ²⁾Єременко В. С.

¹⁾Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна; ²⁾Національний авіаційний університет України, м. Київ, Україна

Достовірний контроль порцелянових ізоляторів є важливою задачею в електроенергетиці. В роботі описано конструкцію та алгоритм роботи розробленої системи діагностики технічного стану порцелянових ізоляторів, які дозволяють підвищити достовірність контролю ізоляторів. Експерименти показали, що використання запропонованої системи дозволяє зменшити СКВ похибки вимірювання максимально в 23,1 рази.

Ключові слова: порцеляновий ізолятор, ультразвук, достовірність, діагностика, статистичні критерії.

Вступ

Забезпечення електроенергетичної безпеки є важливою задачею будь-якої країни. До складу електроенергетичних систем країни входить значна кількість різноманітного устаткування та обладнання, що вимагає постійного моніторингу його експлуатаційних характеристик методами неруйнівного контролю (НК) для забезпечення стабільної роботи системи в цілому. В розподільчих пристроях електростанцій та підстанцій використовуються порцелянові опорно-стержневі ізолятори, що призначені для ізоляції та кріплення струмопровідних частин. Характерними дефектами тіла порцелянового ізолятору (ПІ), які мають чисто виробниче походження, є: порушення складу порцелянної маси, відкрита мікроскопічна пористість (ВМП), випалювальна макроскопічна пористість, засмічувальна макроскопічна пористість. Всі перераховані вище дефекти виявляються за допомогою ультразвукових методів НК. Найбільш поширеним дефектом є ВМП, яка може привести до руйнування ізолятору або втратою ним ізоляційних властивостей. Ультразвукова діагностика ВМП полягає у вимірюванні швидкості ультразвуку в ПІ, яка порівнюється з наперед заданим пороговим значенням. Складність достовірного визначення дефекту типу ВМП обумовлена недосконалістю використовуваного способу НК, обладнання для вимірювання швидкості ультразвуку та геометричними характеристиками самого об'єкту контролю (ОК). Важливою задачею є підвищення достовірності контролю ПІ на наявність дефекту типу ВМП.

Метою роботи є опис розробленої авторами ультразвукової системи діагностики технічного стану ПІ та алгоритму обробки вхідних даних, які дозволяють підвищити достовірність виявлення ВМП.

Постановка задачі

Поява пористості приводить до зменшення швидкості поширення ультразвукових коливань (УЗК) в порцеляновому виробі. Для завдання критичних значень бракувальних рівнів по швидкості поширення УЗК найкращим способом в такій ситуації було б використання еталонного зразка. Однак на технологічний процес виготовлення виробів з електротехнічної високовольтної порцеляни впливає велика кількість випадкових факторів, тому кожна партія виготовлених у певний період виробів має свої фізико-механічні характеристики, причому навіть вироби однієї партії можуть значно відрізнятися за цими характеристиками один від одного. Відповідно використання еталонного зразка для визначення бракувальних критеріїв по швидкості поширення УЗК в таких умовах неможливе.

У сучасній практиці контролю ПІ порогове значення швидкості УЗК для окремої партії ізоляторів визначається за допомогою методу фуксинової проби під тиском (ФППТ), який потребує руйнування дороговартісних ізоляторів і, відповідно, не може забезпечити суцільного контролю [1].

При контролі ПІ задіяні два оператори [2], один з яких знаходиться безпосередньо біля ОК, вимірює штангенциркулем з подовженими губками базу прозвучування та встановлює ультразвуковий перетворювач в контрольну точку. Перетворювач з'єднано з дефектоскопом, який знаходиться у другого оператора. На нього покладено завдання вимірювання часу проходження УЗК вздовж вимірюваної бази прозвучування. Отже, на результат контролю та продуктивність впливатиме злагодженість дій двох операторів.

Як було показано в [3], на достовірність результату контролю ПІ значним чином впливають суб'єктивна, інструментальна та методична похибки, обумовлені недосконалістю використовуваної апаратури, способу контролю, обробки отриманих даних та складною геометрією ОК.

Досліди показали, що значний вплив сумарної похибки не дозволяє достовірно виявляти розкид фізико-механічних характеристик, обумовлений пористістю. Отже, для підвищення достовірності контролю ПІ необхідно вирішити дві задачі: 1) зменшити сумарну похибку, яка виникає в процесі самого контролю; 2) забезпечити прийняття рішення про дефектність ОК на основі статистичного аналізу результатів контролю окремої партії ізоляторів. Зменшення сумарної похибки досягається використанням спеціально розробленої конструкції блоку первинних перетворювачів та статистичної обробки вибірок вимірюваних значень швидкості УЗК. В [2] рекомендовано в якості дефектоскопу використовувати УД2-12 або аналогічні прилади з характеристиками не гіршими, ніж в УД2-12.

Спеціально для проведення контролю ізоляторів розроблено дефектоскоп УДС 2ВФ-ЦИВОМ-ЭП [4]. Однак дані прилади не містять у своєму складі спеціалізованих конструкцій для проведення контролю ізоляторів і не забезпечують можливість застосування статистичної обробки результатів вимірювань.

Алгоритм роботи та структурна схема розробленої системи

На результат контролю ПІ впливає значна кількість факторів, які приводять до того, що результати вимірювань в окремих точках на поверхні ізолятора розподілені за законами, що не суперечать нормальному.

Наявність пористості та її об'ємне положення в тілі ізолятора впливатиме на зміну оцінок математичного сподівання та дисперсії вибірок вимірюваних значень швидкості ультразвуку в окремих точках. Таким чином, на основі аналізу змін цих параметрів приймається рішення про наявність грубої ВМП в ізоляторі.

Алгоритм роботи розробленої системи складається з двох основних блоків (рис. 1): формування вибірок інформативних сигналів та подальшої їх статистичної обробки. Статистична обробка полягає в наступному: спочатку система перевіряє закон розподілу вимірюваних значень швидкості УЗК на відхилення від нормального за критеріями: типу χ^2 , Колмогорова-Смірнова та Епса-Палі. Відмінність закону розподілу від нормального свідчить про нестаціонарність процесу контролю та порушення умов вимірювань, а, відповідно, неможливість використання отриманих даних для прийняття рішення про дефектність виробу.

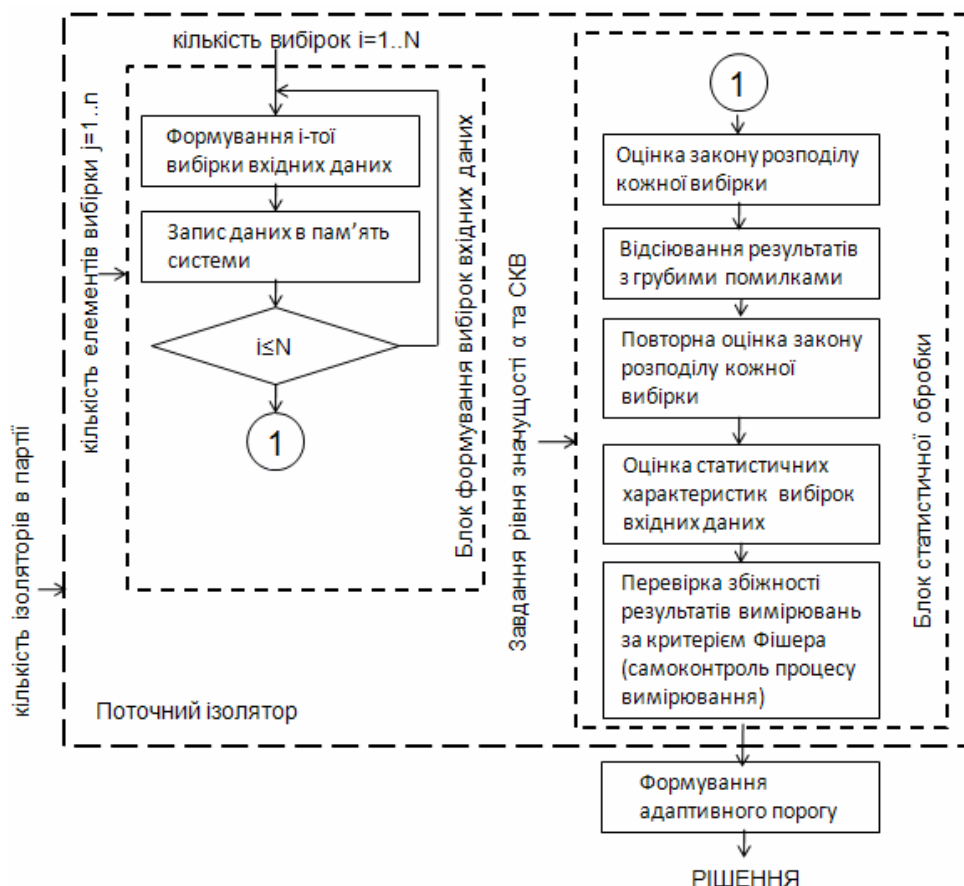


Рис. 1. Алгоритм роботи системи статистичної діагностики технічного стану ПІ.

Якщо підтверджено відповідність закону розподілу нормальному, наступним кроком передбачено відсіювання результатів з грубими похибками, для чого використовуються критерії Шовене, Діксона та Грубса. Такий підхід

дозволяє підвищити вірогідність контролю ПІ. Після відсіювання грубих похибок знову перевіряється закон розподілу отриманих даних на відхилення від нормального, і якщо він не суперечить нормальному, то розраховуються оцінки математичного сподівання та дисперсії.

На наступному кроці для самоконтролю процесу вимірювання в різних точках на поверхні ПІ система передбачає перевірку збіжності результатів вимірювання. Для чого використовується критерій перевірки однорідності дисперсій за Фішером. Якщо виявиться, що дисперсії в різних точках будуть неоднорідними, то система сигналізує оператору про порушення умов контролю.

Структурна схема розробленої системи наведена на рис. 2.

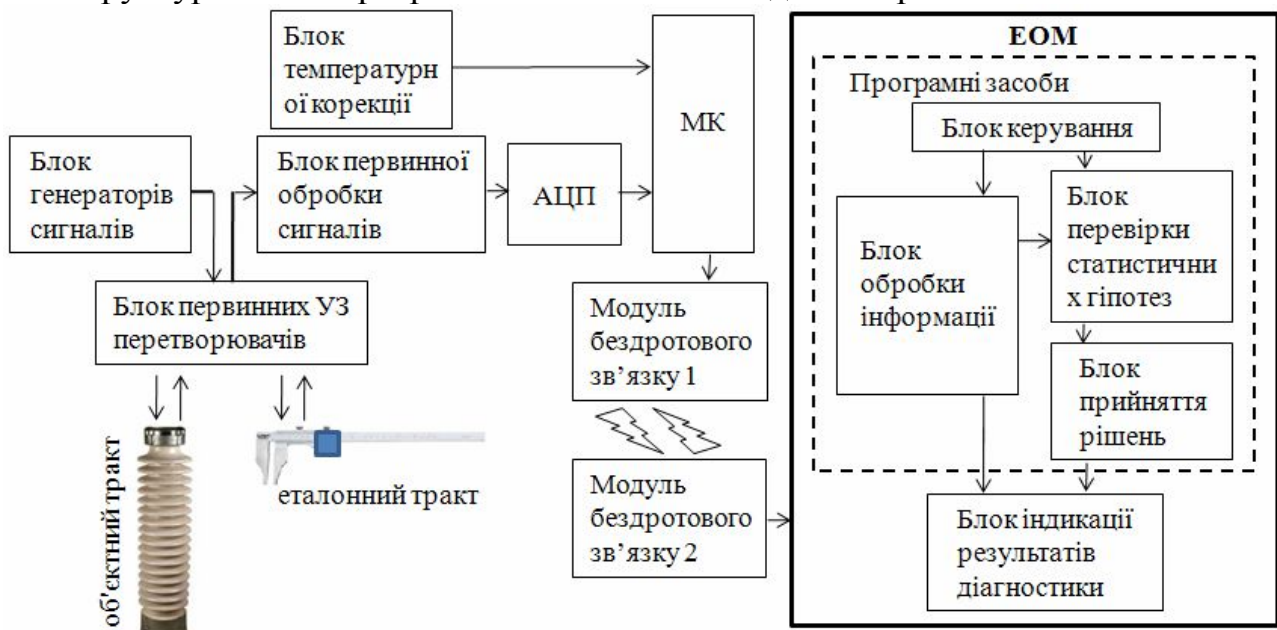


Рис. 2. Структурна схема системи діагностики технічного стану ПІ.

До складу системи входять спеціально розроблені фокусуючі перетворювачі, які побудовані на базі рефрактора, що випромінює в тверде конусоподібне тіло концентратора. Така конструкція дозволяє вводити високочастотні коливання в ОК через точкову поверхню контакту, причому в точці контакту концентратора з поверхнею виробу відбувається фазове фокусування випроміненого сигналу. Такі перетворювачі дозволили зменшити використання контактної рідини, а також мінімізувати вплив шорсткості та кривизни поверхні ПІ на результат контролю.

Розроблений блок первинних перетворювачів являє собою спеціальну конструкцію [5], яка дозволяє жорстко фіксувати фокусуючі перетворювачі на поверхні ОК, що призводить до зменшення методичної похибки, обумовленої неідеальністю форми небезпечних перетинів ПІ. Завдяки конструкції блоку первинних перетворювачів база прозвучування вимірюється автоматично, що зменшує суб'єктивну похибку вимірювання.

Спосіб вимірювання швидкості УЗК, реалізований за допомогою розробленої конструкції блоку первинних перетворювачів, ґрунтується на використанні

двох трактів: еталонного (швидкість УЗК в якому відома точно) та об'єктного (швидкість УЗК в якому необхідно визначити). Завдяки конструкції блоку геометричні розміри обох трактів завжди є зрівноваженими. А, отже, вимірявши час проходження УЗК в обох трактах, можна автоматично розрахувати швидкість в ОК:

$$C_x = \frac{C_{\text{ет}} \cdot t_{\text{ет}}}{t_x},$$

де $C_{\text{ет}}$ – відома швидкість УЗК в еталонному об'єкті (м/с), $t_{\text{ет}}$ – вимірний час затримки в еталонному об'єкті (с), t_x – вимірний час затримки в об'єкті контролю (с).

Конструкція блоку первинних перетворювачів дозволяє встановлювати на корпус розроблену плату збору інформації [6]. Плата забезпечує формування зондуючого імпульсу, прийом та відцифровування сигналів з наступною передачею даних до ЕОМ, в якій і відбувається обробка всіх даних, отриманих в результаті контролю ПІ. Забезпечення взаємодії плати збору інформації та ЕОМ, організація інформаційних потоків системи, реалізація алгоритмів обробки та відображення отриманих результатів покладена на математичне, інформаційне та програмне забезпечення, яке реалізоване в системі графічного програмування LabVIEW.

Вигляд інтерфейсу розробленого віртуального приладу для статистичної обробки даних ультразвукової структуроскопії представлено на рис. 3.

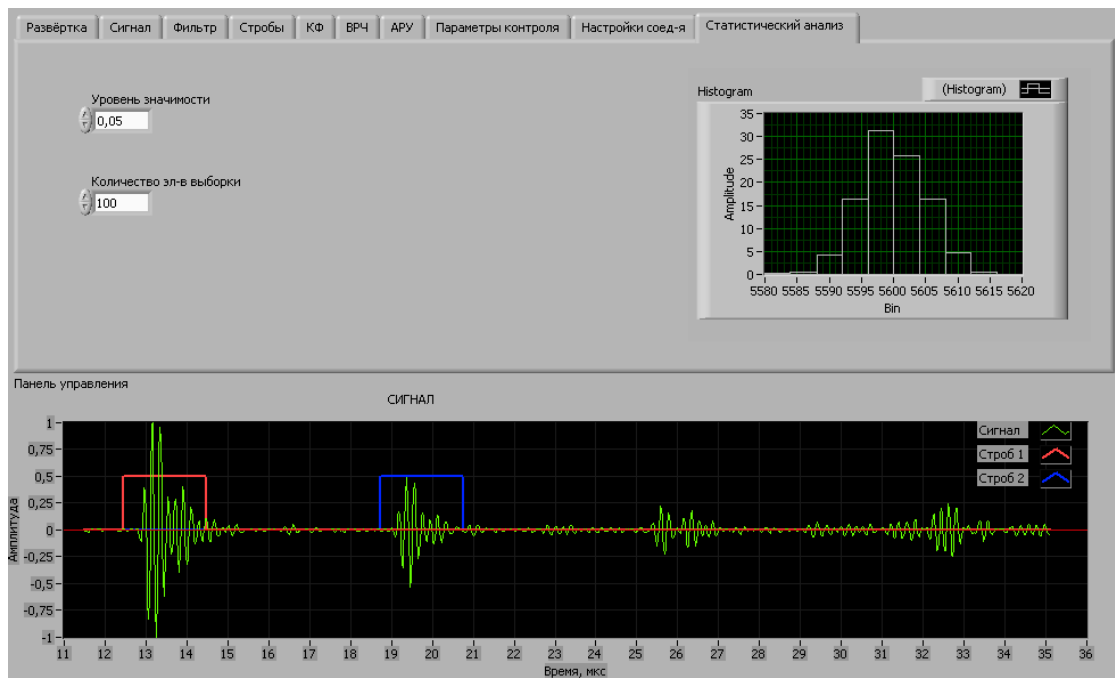


Рис. 3. Інтерфейс програмного комплексу.

Прийнятий сигнал відображається в часовій та частотній області. Для придушення шумів у віртуальному приладі LabVIEW використовується цифровий смуговий фільтр, смугу пропускання якого можна налаштувати за допомогою

елементів керування передньої панелі. Оператор має можливість задати спосіб вимірювання часової затримки між відбитими сигналами: по фронту сигналу, за максимальною амплітудою, з використанням кореляційної функції.

Результати експериментальних досліджень та їх обговорення

Експериментальні дослідження проводились в два етапи. На першому етапі був створений експериментальний стенд, до складу якого входили дефектоскоп загального призначення УДЗ-71, стандартні перетворювачі П111-5.0-К6-003 та П111-2.5-К12-003, штангенциркуль з подовженими губками з нонісною шкалою 0.05мм, порцеляновий ізолятор ИОС 110-400 УХЛ1. В кожній окремій точці в нижньому та верхньому небезпечних перетинах (ННП та ВНП) ізолятору проводилось по 100 вимірювань швидкості УЗК, причому після кожного окремого вимірювання перетворювач відривався від поверхні ізолятору і знову притискався. За результатами вимірювань визначені статистичні характеристики отриманих вибірок даних (див. табл. 1): математичне сподівання та середнє квадратичне відхилення (СКВ).

Таблиця 1. Статистичні характеристики вибірок виміряних значень швидкості УЗК

Перетин	Тип перетворювача	Швидкість УЗК в ПІ, м/с				
		Мін. значення	Макс. значення	Розмах	Мат. спод-ня	СКВ
ВНП	П111-5.0-К6-003	5550,9	5616,7	65,8	5882,3	16,86
	П111-2.5-К12-003	5572,7	5603,4	30,7	5588,3	5,40
ННП	П111-5.0-К6-003	5534,7	5593,3	58,6	5566,6	15,55
	П111-2.5-К12-003	5562,0	5582,2	20,2	5572,5	3,95

При аналізі отриманих результатів видно, що розмах результатів вимірювань швидкості УЗК є дуже значним і становить десятки м/с. Можна звернути увагу на те, що при використанні перетворювача П111-5.0-К6-003 розмах значень майже вдвічі більший, ніж при використанні перетворювача П111-2.5-К12-003 (як у ВНП, так і ННП). Це пов'язано з розміром площі контактної поверхні кожного перетворювача. Перетворювач з більшою площею контактної поверхні легше фіксувати на криволінійній поверхні ПІ, а також утримувати його в заданому положенні, що дозволяє зменшити розкид виміряних значень швидкості УЗК. З іншого боку, як було показано в [3], перетворювач з великою площею контактної поверхні нечутливий до виступів та западин на поверхні ізолятору, що приводить до появи методичної похибки при вимірюванні швидкості УЗК в ПІ. Перетворювач з меншою площею контактної поверхні, з одного боку, є більш чутливим до геометричних перепадів поверхні ізолятору, а з іншого – стабільна фіксація його положення на криволінійній поверхні сильно ускладнена. Така проблема спричинена виключно тим, що оператор вручну проводить контроль. При автоматизації контролю та

забезпеченні жорсткої фіксації перетворювача на поверхні ПІ перевагу матиме перетворювач з меншою площею контактної поверхні.

Аналіз даних табл. 1 дозволяє зробити ще один висновок: СКВ вимірних значень швидкості УЗК по ВНП та ННП для окремого перетворювача також відрізняються. Це обумовлюється характером бічної поверхні кожного з перетинів досліджуваного ізолятору. Так, бічна поверхня ВНП досліджуваного ізолятору була конусоподібною з еліптичною основою, при цьому мала більші значення перепадів розмірів баз прозвучування, ніж у ННП. Бічна поверхня ННП мала більш строгу циліндричну форму з незначною еліптичністю. Такі співвідношення СКВ вимірних значень швидкості УЗК по ВНП та ННП показують вплив шорсткості та геометрії бічної поверхні ПІ на результат вимірювання.

На другому етапі за допомогою розробленої системи було проведено дослідження, аналогічні вище описаним. В табл. 2 наведені основні статистичні характеристики вибірок вимірних значень швидкості УЗК в окремій точці, розраховані за даними, отриманими за допомогою розробленої системи.

Таблиця 2. Статистичні характеристики вибірок вимірних значень швидкості УЗК (при використанні розробленої системи)

Перетин	Швидкість УЗК в ПІ, м/с				
	Мін. значення	Макс. значення	Розмах	Мат. спод-ня	СКВ
ВНП	5585,8	5589,2	3,4	5587,6	0,73
ННП	5563,6	5567,4	3,8	5565,3	0,71

Як видно, СКВ сумарної похибки вимірювання швидкості УЗК, отриманої з використанням розробленої системи, по відношенню до СКВ похибки, отриманої при стандартній методиці проведення ультразвукової структуроскопії (див. табл. 1) зменшено: мінімально – в 5,6 раз, максимально – в 23,1 рази.

Висновки

Розроблена система діагностики технічного стану високовольтних ізоляторів за рахунок конструкції блоку первинних перетворювачів дозволяє запропонувати методику контролю, що значно мінімізує вплив суб'єктивного фактору на результат контролю. Використання системи дозволяє підвищити вірогідність контролю внаслідок зменшення сумарної похибки, що досягається як завдяки конструктивним рішенням, застосованим при розробці, так і статистичній обробці вимірних значень швидкості УЗК.

Область застосування: електроенергетика, приладобудування, машинобудування, авіабудування, автомобільний і залізничний транспорт тощо.

Продовженням роботи є вдосконалення апаратної частини плати збору інформації (використання більш потужного та швидкісного мікроконтролера), покращення завадостійкості системи загалом та оптимізація програмного забезпечення.

Література

1. Омельченко Ю. А. Контроль качества изделий из высоковольтного электрофарфора на монтаже и в эксплуатации / Ю. А. Омельченко, А. А. Шейкин // Диагностика технического состояния фарфоровых изоляторов высоковольтных коммутационных аппаратов: сборник материалов семинара. 27-29 октября 1999 г. – М., ВНИИЭ, 1999. – С. 54-61.
2. ГОСТ Р 52034-2003. Изоляторы керамические опорные на напряжение свыше 1000 В. Общие технические условия. – Введ. 27.01.2003. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 23 с.
3. Галаган Р.М. Підвищення точності визначення швидкості ультразвукових коливань при контролі порцелянових ізоляторів / Р.М. Галаган, В.С. Єременко // Методи та прилади контролю якості. Науково-технічний журнал. – Івано-Франківськ. – 2009. – Вип. № 23. – С. 96-101.
4. ООО «ЦИВОМ». Сертификат прибора УДС 2ВФ-ЦИВОМ-ЭП для ультразвуковой диагностики структуры высоковольтного фарфора [Электронный ресурс] // URL: <http://www.civom.ru/certificate2.html>.
5. Галаган Р. М. Ультразвуковой штангенциркуль / Р.М. Галаган, М.В. Кашич // Методи та прилади контролю якості. – 2008. – Вип. № 20. – С. 18-20.
6. Галаган Р. М. Система визуализации и обработки сигналов ультразвуковой дефектоскопии / Р. М. Галаган, С. В. Грузин // Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabView и технологии National Instruments. Сборник трудов конференции. – Москва, Россия. – 20-21 ноября 2009. – С. 48-50.

References

1. Omelchenko, Y. Quality control of high electroporcelain for installation and operation / Y. Omelchenko, A. Scheikin // Diagnostics of technical condition of high voltage porcelain insulators switching devices: a collection of workshop materials. October 27-29, 1999 - Moscow, VNIIE, 1999. - P. 54-61. [rus]
2. GOST R 52034-2003. Ceramic insulators for supporting the voltage over 1000 V. General specifications. - Introduced 01/27/2003. - M.: Standards Press, 2003. - 23 pages. [rus]
3. Galagan, R. Increased accuracy of the speed control of ultrasound in porcelain insulators / R. Galagan, V. Eremenko // Methods and instruments of quality control. Science and technology magazine. - Ivano-Frankivsk. - 2009. - Vol. № 23. - P. 96-101. [ukr]
4. ООО "CIVOM". Certificate unit УДС 2ВФ-ЦИВОМ-ЭП for ultrasound diagnosis of structure of high-voltage porcelain insulators [electronic resource]: <http://www.civom.ru/certificate2.html>.
5. Galagan R. Ultrasound caliper / R. Galagan, M. Kaschych // Methods and instruments of quality control. Science and technology magazine. - Ivano-Frankivsk. - 2008. - Vol. № 20. - P. 18-20. [ukr]
6. Galagan R. Imaging and signal processing system of ultrasonic flaw detection / R. Galagan, S. Gruzin // Educational, scientific and engineering applications in the environment of LabView and Technology National Instruments. Proceedings of the conference. - Moscow, Russia. - November 20-21, 2009. - P. 48-50.

Р. М. Галаган, В. С. Єременко

¹⁾Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, г. Київ, Україна

²⁾Національний авіаційний університет України, г. Київ, Україна

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ФАРФОРОВЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

Достоверный контроль фарфоровых изоляторов является важной задачей в электроэнергетике. В работе описана конструкция и алгоритм работы разработанной системы диагностики

технического состояния фарфоровых изоляторов, которые позволяют повысить достоверность контроля изоляторов. Эксперименты показали, что использование предложенной системы позволяет уменьшить СКО погрешности измерения максимально в 23,1 раза.

Ключевые слова: фарфоровый изолятор, ультразвук, достоверность, диагностика, статистические критерии.

R. M. Galagan, V. S. Eremenko

¹⁾*National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kiev, Ukraine;* ²⁾*National Aviation University of Ukraine, Kiev, Ukraine*

ULTRASONIC SYSTEM OF DIAGNOSTICS OF PORCELAIN INSULATOR TECHNICAL STATE

Reliable control of porcelain insulators is an important task for energetic. The thesis proposes new ways to improve the reliability of technical inspection of porcelain insulators. These new ways rely on using special blocks transducers, as well as the mathematical software that allows sifting through the results with gross errors and conducting self-monitoring of the system by checking the convergence of the results of ultrasonic velocity measurements at specific points on the surface of the product. Experiments have shown that using the proposed system can reduce the RMS error of measurement in 23.1 times.

Keywords: porcelain insulator, ultrasound, reliability, monitoring, statistical criteria.

*Надійшла до редакції
14 жовтня 2011 року*