

ВИМІРЮВАННЯ ТА ДІАГНОСТИКА В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ

УДК 681.518.5:621.313

DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2022.62.048>

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ІНФОРМАЦІЙНИХ КАНАЛІВ БАГАТОРІВНЕВИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ДІАГНОСТУВАННЯ ВУЗЛІВ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ З УРАХУВАННЯМ ВИМОГ КОНЦЕПЦІЇ SMART GRID

Ю.І. Гижко*, канд. техн. наук, М.С. Гуторова**, канд. техн. наук, В.М. Зварич***, докт. техн. наук, Г.А. Кузік, М.В. Мислович****, докт. техн. наук, Л.Б. Остапчук*****, канд. техн. наук

Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги 56, Київ, 03057, Україна
e-mail: myslmv@gmail.com

Розглянуто деякі особливості побудови інформаційних каналів, що входять до складу багаторівневих інформаційно-вимірювальних систем діагностування електротехнічного обладнання. Основну увагу приділено розгляду каналів вимірювання первинної діагностичної інформації, а також блоку навчальних сукупностей, де зберігається інформація про дефекти та можливі режими роботи певних вузлів електротехнічного обладнання. Розглянуто один із можливих варіантів побудови первинного вимірювального каналу, орієнтованого на використання бездротових вимірювальних сенсорів, які узгоджуються з міжнародними стандартами. Коротко наведено описання діагностичних ознак для визначення технічного стану і класифікації можливих дефектів в окремих вузлах електротехнічного обладнання з урахуванням режимів їхньої роботи. На основі прийнятих діагностичних ознак розглянуто моделі представлення навчальних сукупностей, що відповідають певним технічним станам вузлів електротехнічного обладнання для різних режимів експлуатації. Бібл. 10, рис. 3.

Ключові слова: електротехнічне обладнання, система діагностики, концепція Smart Grid, навчаюча сукупність.

Вступ. Розв'язок задач моніторингу та діагностування електротехнічного обладнання (ЕО) енергопідприємств вимагає використання великої кількості інформаційних та обчислювальних ресурсів, що суттєво ускладнює структуру інформаційно-вимірювальних систем (ІВС), які використовуються, і, як наслідок, призводить до зниження їхньої надійності та підвищення вартості. Значно вдосконалити вирішення цієї проблеми вдається шляхом застосування результатів розробки розподіленої багаторівневої ІВС моніторингу й діагностики ЕО [1–4]. У таких ІВС вимірювальна інформація піддається попередньому аналізу безпосередньо в місці її отримання для того, щоб відокремити тільки ту її частину, яка важлива для визначення стану всього технічного об'єкта. Водночас передача інформації в центральний модуль діагностичної системи для її подальшого глибокого аналізу здійснюється лише за наявності обґрунтованої причини вважати, що у контрольованому вузлі є критичний дефект. Завдяки цьому значно зменшуються обсяги даних, що передаються між модулями системи моніторингу та діагностування, знижується навантаження на її елементи.

У процесі створення багаторівневих ІВС моніторингу й діагностування обов'язково мають бути враховані конструктивні особливості електроенергетичного об'єкта, який передбачається діагностувати, а також можливість оснащення його новітніми інформаційно-вимірювальними засобами, які спроможні забезпечити моніторинг та діагностування окремих його вузлів з урахуванням концепції Smart Grid.

Так, наприклад, на Трипільській ТЕС турбогенератори мають штатну систему контролю технологічних параметрів і характеристик процесів: температур, вібрацій і т. ін. Ця система проводить контроль граничних значень вимірюваних параметрів, який недостатній для



забезпечення роботи турбогенератора з високою надійністю. Для прикладу, підшипники турбогенераторів ТГВ-300 Трипільської ТЕС оснащені штатними системами віброконтролю ВСВ 350П, алгоритми функціонування яких засновані на контролі середньоквадратичного значення віброшвидкості в діапазоні частот 10...1000 Гц, що відповідно до [5] є недостатнім для виявлення та класифікації багатьох дефектів. Слід зазначити, що згадана система віброконтролю знаходиться в експлуатації вже понад 40 років.

Нині в багатьох розвинених країнах світу для побудови новітніх систем моніторингу й діагностування електроенергетичних об'єктів все частіше використовується концепція Smart Grid. Застосування цієї концепції (в тому числі й у багаторівневих ІВС моніторингу й діагностики) передбачає, що обслуговування та ремонт ЕО повинні здійснюватися за фактичним станом [1, 2]. Для цього значно більша частина обладнання повинна бути охоплена системами забезпечення надійності, які мають здійснювати постійний чи періодичний контроль його фактичного технічного стану. Крім того, самі ці системи повинні мати більше можливостей: забезпечувати двосторонній обмін інформацією на всіх рівнях, віддалений моніторинг стану, прогнозування відмов, планування необхідності в запасних частинах, оцінку залишкового ресурсу тощо.

Інколи у відомих джерелах перелічені вище задачі об'єднують під загальною назвою "Asset Management" [1, 6]. Зараз активно ведуться як інженерні, так і наукові роботи в цьому напрямку, причому їхні автори пов'язують свої результати саме з реалізацією ключових моментів концепції Smart Grid [1, 3, 4, 6]. Провідні виробники потужного електротехнічного обладнання вже зараз пропонують низку програмних продуктів, призначених для збору та узагальнення статистичної інформації про умови експлуатації та фактичний стан обладнання ЕО. На сьогодні функціонування систем комунікації на енергопідприємствах регламентується відповідними Міжнародними стандартами, наприклад [7], у яких передбачено побудову певних програмних продуктів, що призначені для забезпечення комунікації між інтелектуальними електронними пристроями, що встановлені на електричних станціях.

Потреба в оснащенні широкого класу різноманітного ЕО системами діагностування, моніторингу та контролю стану зумовлює те, що ці системи повинні бути адаптивними, значно інтелектуальнішими, ніж існуючі. Важливу роль у забезпеченні широких можливостей систем нового покоління буде відігравати розподіл обчислювальних ресурсів між різними системами діагностування, моніторингу та контролю, що працюють на різних рівнях ієрархії енергосистеми (ЕС).

При побудові структури багаторівневої ІВС моніторингу й діагностики вузлів ЕО на перше місце постають вимоги підвищення та достовірності результатів діагностики певних вузлів досліджуваного ЕО. Багато в чому отримання результатів вимірювання діагностичних сигналів, що задовольняють певні вимоги точності та достовірності, залежать від параметрів і характеристик застосованих у системі первинних сенсорів. Крім того, суттєвий вплив на точність згаданих результатів має вибір алгоритмів та відповідного програмного забезпечення, що здійснює у відповідному блоку навчання багаторівневої ІВС моніторингу й діагностики ЕО формування навчаючих сукупностей, які відповідають певним видам дефектів, а також режимам роботи ЕО.

У цій статті зосереджено увагу на створенні структур первинних інформаційних каналів, а також на побудові блоків формування навчаючих сукупностей (НС), які забезпечують можливість роботи багаторівневої ІВС моніторингу й діагностування ЕО за концепцією Smart Grid.

Із великого різноманіття публікацій, які спрямовані на розв'язок означених вище задач, можна виділити роботу [3], у якій розглядаються питання забезпечення двостороннього обміну інформацією між різними рівнями об'єктів електроенергетики. У статті розглянуто питання практичного застосування бездротових сенсорів, сумісних зі стандартом IEEE 802.15.4, на різних електроенергетичних об'єктах. У роботі представлено результати комплексного експериментального дослідження з визначенням статистичних характеристик бездротового каналу обміну інформацією між об'єктами на електроенергетичній підстанції з напру-

гою 500 кВ. Проведені дослідження довели перспективність використання двосторонніх сенсорів указанного стандарту для побудови ІВС з використанням Smart Grid технологій.

У роботах [1–4, 6] було описано особливості побудови багаторівневих систем діагностування обладнання електроенергетичних об'єктів з урахуванням концепції Smart Grid і на цій основі розроблено узагальнену структуру багаторівневої системи моніторингу стану та технічного діагностування таких об'єктів. Зокрема, у роботі [6] запропоновано моделі представлення навчаючих сукупностей у вигляді матриці, елементи якої відображають еліпси розсіяння діагностичних ознак визначених типів дефектів вузлів і режимів роботи електротехнічного обладнання. Отже, результати проведеного розгляду вищевказаних робіт зумовили мету цієї статті.

Метою роботи є розгляд та аналіз узагальненої структури багаторівневої ІВС моніторингу й діагностики електротехнічного обладнання енергопідприємств України, що відповідає вимогам міжнародних стандартів та концепції Smart Grid. Основну увагу в роботі приділено питанням побудови інформаційних каналів, що впливають на точність та достовірність результатів діагностики ЕО і забезпечують можливість функціонування такої ІВС за вимогами концепції Smart Grid, а саме, каналу вимірювання, обробки й дистанційної передачі діагностичної інформації для подальшої обробки в ІВС, а також каналу, що забезпечує в ІВС формування навчальних сукупностей (НС), які відповідають певному технічному стану вузла ЕО з урахуванням режиму його роботи.

Розглянемо питання вибору первинних сенсорів, що відповідають вимогам міжнародних стандартів і можуть бути адаптовані до структури багаторівневої ІВС моніторингу й діагностики ЕО, яка передбачає функціонування з урахуваннями концепції Smart Grid.

Зважаючи на розвиток сучасних інформаційних технологій та стандартів безпроводної передачі даних, виникає можливість розробки розподілених мереж безпроводних сенсорів, що використовують різні канали передачі даних, різні сенсори та блоки первинної обробки вимірних сигналів. Доцільність вибору певного технічного рішення визначається під час концептуального проектування ієрархічної структури мережі Smart Grid, виходячи з особливостей об'єкта діагностування.

Залежно від цього можливо отримати мережу енергоємних та швидкісних блоків вимірювання, низькошвидкісних та відносно енергонезалежних, або ж різні комбінації за необхідності. У роботі [8] розглянуто особливості забезпечення можливості збільшення періоду автономного функціонування безпроводних сенсорів з відносно потужним блоком первинної обробки та швидким каналом передачі даних за допомогою використання технологій Energy Harvesting.

Альтернативним варіантом для об'єктів, які не потребують передачі великих обсягів даних умовно в режимі реального часу, можливе використання низькошвидкісних протоколів передачі даних з малим енергоспоживанням.

Перспективним є застосування сенсорів серії 8911-А виробництва компанії TE connectivity, які використовують безпроводний канал передачі LoRaWAN, що залежно від частоти передачі діагностичної інформації забезпечує можливість автономного функціонування протягом п'яти років, та дають змогу обробки вібраційного сигналу з частотою до 15 кГц (резонансна частота 30 кГц). Блок сенсора складається також з мікропроцесора, який згідно з запрограмованими параметрами переводить сигнал у спектральну площину та фіксує пікові значення на визначених частотах. Тобто після формування навчаючих сукупностей для певного вузла діагностування його можна використовувати як основний сенсор для автономного діагностування вузлів обладнання на певному ієрархічному рівні Smart Grid з можливістю самостійного визначення критичних значень віброприскорення для передачі інформації на оперативний рівень для забезпечення умов для прийняття рішення про наявність дефекту у вузлі діагностування.

Основні задачі побудови багаторівневої ІВС моніторингу та діагностики ЕО. Для досягнення сформульованої мети необхідно також розглянути деякі моменти, пов'язані з результатами розробки математичних моделей діагностичних інформаційних сигналів, які дають можливість обґрунтувати діагностичні ознаки, за кількісними оцінками яких, у свою

чергу, було сформовано навчаючі сукупності, що відповідають як певним технічним станам вузлів ЕО, так і режимам їхньої роботи. Застосування елементів теорії лінійних випадкових процесів (ЛВП) [9, 10] при побудові моделей цих сигналів надало змогу отримати статистичні оцінки діагностичних ознак досліджуваних вібраційних сигналів як для гаусового, так і для інших видів розподілів ймовірностей, що належать до класу безмежно подільних законів розподілу ймовірностей [10].

Отримання результатів вимірювання діагностичного сигналу у вигляді реалізацій віброприскорення, тобто випадкового процесу, потребує:

- дослідження результатів розробки математичних ймовірнісних моделей, що аналітично описують такий процес;
- теоретичного обґрунтування можливих діагностичних ознак, що встановлюються за результатами ймовірнісного аналізу розроблених математичних моделей діагностичних сигналів;
- вибору діагностичних просторів для формування навчаючих сукупностей (НС), координатами яких виступають параметри діагностичних сигналів;
- формування НС, що відповідають певним технічним станам досліджуваних вузлів ЕО, а також режимам їхньої роботи.

Перші дві позиції з наведеного переліку досить докладно розглянуті у роботах [2, 5, 6]. Нагадаємо, що узагальнена математична модель сигналу об'єкта діагностування ЕО, що працює у різних режимах, має вигляд:

$$\Xi_n(t) = (\xi_1(t), \xi_2(t), \dots, \xi_n(t)), \quad t \in T \quad (1)$$

де послідовність компонент $\{\xi_j(t), j = \overline{1, n}\}$ моделі (1) описує послідовність діагностичних вібраційних сигналів ЕО у n -режимах його функціонування.

Модель (1) є векторним ЛВП. Вона дає змогу врахувати специфіку і характерні можливості різних режимів роботи досліджуваного ЕО. Наведена модель є подальшим розвитком відомих математичних моделей діагностичних сигналів, що були отримані під час дослідження фізичних процесів, що супроводжують роботу ЕО. З метою практичного використання в роботі досліджується модель стаціонарного ЛВП, яка знайшла широке застосування у вібродіагностиці технічних об'єктів і систем.

Таким чином, компонента $\xi_j(t)$ моделі (1) має інтегральне представлення [9] у виді:

$$\xi_j(t) = \int_0^\infty \phi_j(t - \tau) d\eta(\tau) = \int_0^\infty \phi_j(t - \tau) \eta'(\tau) d\tau, \quad j = \overline{1, n}, \quad t \in T, \quad (2)$$

де детермінована функція $\phi_j(t)$ характеризує імпульсну перехідну функцію об'єкта дослідження як лінійної системи в j -му режимі функціонування, а породжуючий процес $\eta(t)$ – випадковий процес з незалежними приростами і безмежно-подільними законами розподілу, який враховує дію значної кількості стохастичних факторів, що виникають в момент формування діагностичного сигналу. Похідна процесу $\eta'(\tau)$ є процесом білого шуму [9, 10], що дає можливість використати поєднання теоретичних і експериментальних результатів досліджень у галузі вібродіагностики.

Припускаючи, що для коливального процесу, яким є процес розповсюдження вібраційної хвилі в тілі досліджуваного вузла, ЕО може бути представлений як процес з імпульсною перехідною функцією [6]

$$\phi_{ji}(t) = \frac{(2\pi f_{ji})^2}{\psi_{ji}} e^{-\beta_{ji} t} \sin(\psi_{ji} t) U(t), \quad (3)$$

де f_{ji} – резонансна частота; β_{ji} – коефіцієнт, що характеризує ступінь згасання коливань i -ї складової; $\psi_{ji} = \sqrt{(2\pi f_{ji})^2 - \beta_{ji}^2}$ – коефіцієнт, який характеризує ступінь взаємозв'язку між f_{ji} та β_{ji} ; $U(t)$ – нормалізована функція Хевісайда (одичинний стрибок).

У відповідності з роботами [2, 5, 6] і з урахуванням (3) зміна технічного стану об'єкта діагностування або режиму його функціонування обумовлена змінами параметрів імпульсної функції $\phi_{ji}(t)$ чи породжуючого процесу $\eta'(\tau)$. За результатами дослідження математичних моделей вібродіагностичних сигналів, з огляду на результати робіт [2, 5] як діагностичні

ознаки може бути обрана наступна низка параметрів і характеристик, що враховують як різні режими, так і можливий технічний стан об'єктів діагностування ЕО:

- при спектрально-кореляційному аналізі: коефіцієнти затухання β_{ji} ; частотні параметри ψ_{ji} , $j = \overline{1, n}$, $i = \overline{1, m}$;
- при аналізі ймовірнісного розподілу: характер функції щільності розподілу ймовірностей; величини початкових і центральних моментів, серед яких найбільш інформативними є коефіцієнти асиметрії k та ексцесу γ .

Якщо замість параметрів k та γ скористатись зв'язаними з ними параметрами $\beta_1=k^2$ та $\beta_2=\gamma+3$ [5], то як діагностичний простір для формування навчаючих сукупностей (НС), що характеризують технічний стан досліджуваних вузлів, можна вибрати площину (β_1, β_2), у якій будуватиметься відома в статистиці діаграма Пірсона [5]. Саме такий підхід використовувався в роботах [2, 5, 6] для формування НС, які враховують види можливих дефектів досліджуваного вузла ЕО.

Передбачається розроблення форм представлення НС, які відповідають певним технічним станам вузлів ЕО і які можуть працювати у різних режимах. Передбачається також створення моделей форм НС, що дають змогу об'єднати сформовані НС в окремі вузли та агрегати ЕО у відповідності із запропонованою схемою розподілення ЕО на певні ієрархічні рівні.

Застосування концепції Smart Grid передбачає значне розширення можливостей систем діагностування за рахунок реалізації додаткових функцій, а саме: забезпечення двостороннього обміну інформацією між усіма ієрархічними рівнями системи; віддалений моніторинг стану досліджуваних об'єктів електростанції; оцінку залишкового ресурсу та ін. Практична реалізація таких ІВС діагностування вимагає створення відповідних методів, алгоритмів і програмного забезпечення, які б у реальному часі оброблювали вимірювані сигнали і видавали результат діагнозу щодо технічного стану досліджуваного ЕО.

Зважаючи на те, що організація роботи сучасних електроенергетичних об'єктів є ієрархічною [1, 6], системи моніторингу, контролю та технічного діагностування ЕО також повинні будуватися за ієрархічним принципом.

Наступним кроком у створенні НС для ІВС діагностування є умовне розбиття всього обладнання електростанції на певні ієрархічні рівні.

У відповідності з роботами [1, 6] таких рівнів може бути вибрано 4:

- перший – на цьому рівні розташовані елементи конструкції основних вузлів обладнання електростанції. Саме цей рівень і визначає, які саме дефекти можливі в об'єкті, що розглядається;
- другий – це власне вузли обладнання, які являють собою конструктивно єдине ціле. Сюди можна віднести обмотки ротора та статора обертових машин, магнітопроводи, підшипникові вузли, корпус, станину, фундамент, систему охолодження;
- третій – представляє агрегати електротехнічного обладнання електростанції: генератори, двигуни власних потреб, трансформатори, вимикачі, роз'єднувачі, ізолятори, насоси тощо;
- четвертий рівень ієрархії – це рівень електростанції в цілому.

Виходячи з наведених рівнів, у роботі [6] запропонована модель формування і зберігання НС для банку даних ІВС моніторингу й діагностування ЕО у вигляді плоскої та об'ємної матричних форм. Умовно це можна назвати представленням НС у 2D-форматі й 3D-форматі.

Таке представлення НС дає змогу (з узгодженням запропонованих вище ієрархічних рівнів) зручно їх систематизувати по окремих вузлах і агрегатах усього ЕО, що представлено на електростанції і може бути охоплено системою діагностування. Так, у форматі 2D представляються НС, що охоплюють дані по одному з вузлів (це відповідає 2-му рівню в запропонованій ієрархії). По стовпчиках запропонованої матриці розташовані елементи, що відповідають певним видам дефектів, які можуть виникати в ході експлуатації досліджуваного вузла за конкретного фіксованого режиму його роботи. За рядками цієї матриці розташовуються елементи, які відповідають однаковим технічним станам (справним або таким, що мають конкретні види дефектів), але таким, що працюють у різних режимах.

Особливості формування просторів діагностичних ознак станів вузлів ЕО в умовах теплової електростанції. Наведемо приклад формування НС для реального електротехнічного об'єкта, що експлуатується в умовах теплової електростанції. Для цих експериментів було обрано підшипникові вузли електродвигунів DKRAJ 4519-4М (рис. 1). Ці двигуни використовуються як привод питомих водяних насосів KRHA-300/660-40А-019 (рис. 2), що забезпечують експлуатацію турбогенераторів ТВ-60-2 теплової електростанції ТОВ «СВРО-РЕКОНСТРУКЦІЯ» (Дарницька ТЕЦ – 4, м. Київ). Досліджувались віброприскорення поверхні підшипникових вузлів одного зі зразків вказаного типу двигунів, що пройшов плановий поточний ремонт.



Рис. 1

Основна мета проведення експериментів з вимірювання та дослідження віброприскорення підшипникових вузлів полягала у встановленні залежності параметрів вібрації від робочої температури підшипникових вузлів вказаних електродвигунів. Саме з цієї причини було обрано електродвигун, який вводився до експлуатації після поточного ремонту, тобто температура поверхні його підшипникового вузла приблизно дорівнювала внутрішній температурі приміщення, де були встановлені ці двигуни, а саме $t = 21^{\circ}\text{C}$. Температура вказаної поверхні вимірювалась за допомогою контактного термометра для технічних вимірювань типу CEWAL BRC 66V1 з діапазоном вимірювання $0 \dots 120^{\circ}\text{C}$.

Для цього температурного стану за допомогою розробленого зразка ІВС моніторингу й діагностики ЕО було проведено вимірювання й наступна статистична обробка по програмі гістограмного аналізу діагностичного сигналу віброприскорення підшипникового вузла. Наступне вимірювання досліджуваного сигналу було здійснено після досягнення вказаним двигуном робочих експлуатаційних параметрів (приблизно через 1 годину після пуску двигуна). Температура підшипникового вузла на цей момент досягла відмітки $t = 47^{\circ}\text{C}$.



Рис. 2

У роботах [2, 5] показано, що коефіцієнти асиметрії k та ексцесу γ , які характеризують розподіл процесів вібрації різних вузлів ЕО, можуть бути використані як діагностичні ознаки для визначення технічного стану або ступеня навантаження вузлів ЕО.

За даними статистичної обробки вимірювань віброприскорень підшипникового вузла вказаного двигуна, отриманих за різних температур, за оцінками параметрів $\overline{\beta}_1$ і $\overline{\beta}_2$ у діагностичному просторі (β_1, β_2) були сформовані навчальні сукупності, які наведено на рис. 3. Навчальні сукупності являють собою еліпси розсіяння [5], побудовані на рівні 0,95 за точками, що відповідають різним значенням температури досліджуваного вузла, а саме: 21°C та 47°C . Для формування наведених навчальних сукупностей було використано вибірки обсягом близько 120 елементів.

Як видно з наведених сукупностей, підвищення температури підшипникового вузла електродвигуна призводить до незначного зміщення еліпса розсіяння за величиною параметра β_2 . У підсумку отримані в цьому прикладі результати свідчать про необхідність врахування температурного режиму для створення ІВС моніторингу й діагностики вузлів ЕО.

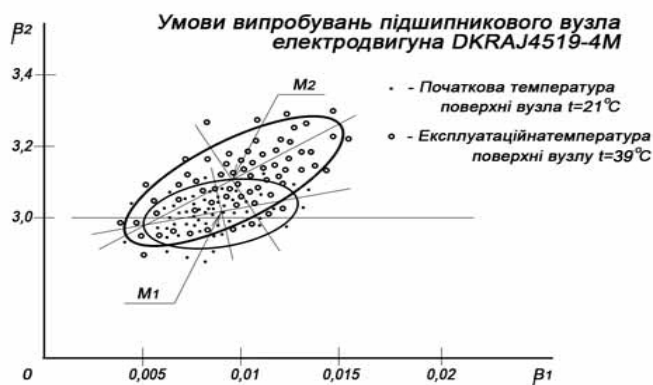


Рис. 3

Висновки. Отримано такі основні результати: 1) з урахуванням вимог міжнародних стандартів запропоновано структуру інформаційно-вимірювального каналу для реєстрації вібраційного діагностичного сигналу, який забезпечує функціонування ІВС моніторингу та діагностики ЕО з урахуванням концепції Smart Grid; 2) розглянуто основні науково-технічні принципи побудови ІВС моніторингу й діагностування ЕО з урахуванням режимів його роботи; 3) наведено приклад формування навчаючих сукупностей з використанням експериментально зареєстрованих даних віброприскорення корпусів підшипників електроприводу питомих насосів для парових турбін ТЕЦ ТОВ «СВРОРЕКОНСТРУКЦІЯ» (Дарницька ТЕЦ – 4, м. Київ).

Підготовлено за державною науково-дослідною роботою «КОМПЛЕКС-5» («Розроблення нових математичних моделей та методів дослідження електрофізичних процесів та полів в електротехнічному обладнанні для вирішення задач надійної експлуатації та діагностування»), державний реєстраційний номер 0121U107443. КПКВК 654103.

1. Myslovych M.V., Sysak R.M. About some features of construction of intellectual multilevel systems of technical diagnostics of electric power objects. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2015. No 1. Pp. 78–85.
2. Hertsyk S.M. Computerized system for diagnostics of electrical equipment components, taking into account its modes of operation. Kyiv: In-t of elektrodynamik of Ukrainian Academy of Sciences. Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.13.05 - Computer systems and components. 2019. 20 p.
3. Gungor V.C., Bin Lu, Hancke G.P. Opportunities and Challenges of Wireless Sensor Networks in Smart Grid. *IEEE Transactions on industrial electronics*. 2010. Vol. 57. No 10. Pp. 3557–3564. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIE.2009.2039455>
4. Piyin V.V. Introduction to Smart Grid. *АВОК*. 2012. No 7. Pp. 76–86.
5. Babak S.V., Myslovych M.V., Sysak R.M. Statistical diagnostics of electrical equipment. Kyiv: Institute of elektrodynamiks of Ukrainian Academy of Sciences. 2015. 456 p.
6. Myslovych M.V. Models of Forms of Representation of Learning sets for Multilevel Systems of Diagnosis of Electrical Equipment Assemblies. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2021. No 3. Pp. 65–73. DOI: <https://doi.org/1015407/techned2021.03.065>
7. IEC 61850 -8-1 Communication networks and systems in substations-Part 8-1:Specific Communication Service Mapping (SCSM) – Mapping to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3. 140 p.
8. Hertsyk S. Formation of training sets for systems of diagnostics of the electric power equipment taking into account modes of its work. *Pratsi Instytutu elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy*. 2019. Vyp. 52. Pp. 54–61. DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2019.52.054>
9. Marchenko B.G. The method of stochastic integral representations and its applications in radio engineering. Kiev: Naukova dumka, 1973. 192 p. (Rus).
10. Marchenko B.G., Scherbak L.M. Linear random processes and their applications. Kiev: Naukova dumka, 1975. 143 p. (Rus).

FEATURES OF BUILDING INFORMATION CHANNELS OF MULTILEVEL INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEMS OF DIAGNOSING UNITS OF ELECTRICAL EQUIPMENT TAKING INTO ACCOUNT THE REQUIREMENTS OF THE SMART GRID CONCEPT

Yu.I. Hyzhko, M.S. Hutorova, V.M. Zvaritch, H.A. Kuzik, M.V. Myslovych, L.B. Ostapchuk

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

pr. Peremohy, 56, Kyiv, 03057, Ukraine

e-mail: myslmv@gmail.com

Some peculiarities of constructing information channels, which are a part of multilevel information-measuring systems for diagnostics of electrical equipment, are considered. The primary attention in the report is paid to the consideration of primary diagnostic information measurement channels, as well as the block of training aggregates, where the information about defects and possible modes of operation of some electrical equipment units is stored. One of the possible options for building a primary measurement channel focused on using wireless measurement sensors, which are consistent with the use of international standards, has been considered. The description of diagnostic features for determining the technical condition and classification of possible defects in individual nodes of electrical equipment concerning their modes of operation is briefly described. Based on accepted diagnostic attributes, the models of representation of training sets, which correspond to different technical states of electrical equipment units for different modes of operation, are considered. Ref. 10, fig. 3.

Keywords: electrical engineering equipment, diagnostics system, Smart Grid concept, teaching package.

Надійшла: 14.07.2022

Прийнята: 04.08.2022

Submitted: 14.07.2022

Accepted: 04.08.2022