РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента на дисертаційну роботу

Байди Владислава Дмитровича

на тему «Методи та інформаційна технологія діагностування відмов у напівпровідникових перетворювачах електроенергії на основі цифрових двійників», подану на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»

Актуальність теми дисертації

Перехід від реактивного обслуговування обладнання до проактивного є однією з ключових тенденцій розвитку інформаційних технологій в енергетиці та промисловості. Для пристроїв силової електроніки цей перехід ускладнюється тим, що основні механізми деградації (зростання еквівалентного послідовного опору конденсаторів, зміна опору відкритого каналу ключових елементів, дрейф параметрів магнітних компонентів) мають прихований характер і тривалий час не проявляють себе через порушення основної функції перетворювача.

Особливої ваги ця проблематика набуває для України в умовах відновлення енергетичної інфраструктури, масового впровадження розподіленої генерації, систем накопичення енергії та автономних джерел живлення. Значна частина цього обладнання працює автономно, тому дистанційний моніторинг стану перетворювачів виключно за зовнішніми сигналами, що виключає потребу у внутрішньому втручанні чи встановленні додаткових сенсорів, має важливе практичне значення.

З погляду комп'ютерних наук задача зводиться до побудови інформаційної технології, яка поєднує модель об'єкта, метод її онлайн-калібрування під конкретний екземпляр пристрою та формалізоване правило прийняття діагностичного рішення. Саме на розв'язання цієї задачі спрямовано дисертаційну роботу Байди В. Д., у якій цифровий двійник використовується не як засіб

візуалізації чи симуляції, а як джерело еталонної поведінки для онлайн-діагностування. Важливою перевагою обраного підходу є розподіл обчислювального навантаження: ресурсомісткі операції ідентифікації параметрів і синтезу діагностичних правил виконуються одноразово, а робоча фаза діагностування зводиться до простих арифметичних операцій і табличного пошуку.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертацію виконано в Національному університеті «Чернігівська політехніка» відповідно до пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки України «Інформаційні та комунікаційні технології» та «Енергетика та енергоефективність». Результати роботи отримано під час виконання міжнародного суб-гранту «Lab Discovery Engine» проєкту NGI Search програми Horizon Europe (HORIZON-CL4-2021-HUMAN-01, № 101069364), проєкту ERASMUS+ «DIGITRANS» (01127683-DIGITRANS-ERASMUS-EDU-2023-CBHE), а також прикладного наукового дослідження «Методи і моделі динамічної бездротової передачі енергії на основі гібридного зв'язку» (державний реєстраційний номер 0126U001717), що фінансується МОН України. Участь здобувача у міжнародних проєктах підтверджена довідками про впровадження (додаток А).

Наукова новизна одержаних результатів

До положень наукової новизни, які виносяться на захист, здобувач відносить три результати.

1. Вперше запропоновано інтегрований метод онлайн-діагностування напівпровідникових перетворювачів електроенергії на основі цифрового двійника, який, на відміну від існуючих, поєднує калібрування цифрового двійника під конкретний екземпляр пристрою, векторне порівняння зовнішніх сигналів працюючого перетворювача з еталонними даними двійника та таблицю

відповідності між векторною різницею і ступенем несправності/деградації елементів перетворювача, що дозволяє локалізувати причину відмови без вимірювань параметрів окремих елементів.

2. Отримали подальший розвиток методи калібрування цифрових двійників перетворювачів постійного струму на основі генетичних алгоритмів, які, на відміну від існуючих, визначають еталонний сигнал для калібрування за критерієм рівновіддаленості його показників від граничних значень експериментальної вибірки, що дало змогу узгодити цифровий двійник із конкретним екземпляром фізичного об’єкта та безпосередньо використати симетричні відхилення відкаліброваної моделі від експериментальних даних як початкові пороги діагностування.

3. Отримали подальший розвиток технологічні підходи до формування архітектури дистанційних інженерних лабораторій шляхом розроблення методу багатокритеріального порівняльного аналізу за системою зважених критеріїв, зокрема можливості інтеграції, швидкодії та простоти конфігурації. Це створює підґрунтя для науково аргументованого вибору архітектури інформаційних систем, орієнтованих на роботу з цифровими двійниками електронного обладнання.

Формулювання положень новизни коректні, відповідають змісту роботи та публікаціям здобувача.

Практичне значення одержаних результатів

Практична цінність роботи полягає у створенні працездатного програмно-апаратного комплексу, в якому цифровий двійник і реальний перетворювач об’єднані в єдиний контур. Окремо варто відзначити результат підрозділу 5.3: заміна SPICE-моделі власною моделлю у просторі станів мовою C скоротила час розрахунку еталонного вектора з 178-192 мс до 18-58 мкс, тобто більш ніж на три

порядки. Це переводить метод із категорії лабораторних у категорію таких, що потенційно реалізовуються на вбудованих обчислювачах.

Результати впроваджено в міжнародних проєктах Horizon Europe («Lab Discovery Engine») та ERASMUS+ («DIGITRANS»), а також у навчальному процесі НУ «Чернігівська політехніка» в дисциплінах «Мікропроцесорні системи» та «Джерела живлення телекомунікаційного обладнання» для бакалаврів спеціальності 172, що підтверджено відповідними довідками.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень і висновків

Наукові положення дисертації ґрунтуються на коректному застосуванні апарату векторної алгебри, схемотехнічного моделювання (PySpice/Ngspice), моделей у просторі станів, еволюційної оптимізації, методів багатокритеріального оцінювання та теорії марковських процесів. Методологічною сильною стороною роботи є те, що кожен із запропонованих методів доведено до програмної реалізації та перевірено на фізичному макеті понижуючого перетворювача з мікроконтролером STM32 і вимірювальним пристроєм Analog Discovery 2, а не лише на модельних даних.

Достовірність результатів підтверджується значним обсягом експериментальних даних (17 сценаріїв відхилень параметрів, загалом понад 46 тис. вимірювань, окремий тест справного стану на 20744 вимірюваннях), порівнянням двох незалежних реалізацій цифрового двійника (PySpice і модель у просторі станів, частка правильних визначень 99,90 % та 99,85 % на 171096 вимірюваннях), а також аналізом чутливості марковської моделі готовності (додаток Д). Позитивно оцінюється і те, що автор відкрито формулює обмеження власних моделей (додаток Г), зокрема припущення про експоненційні розподіли та неврахування хибних спрацювань.

Отримані результати узгоджуються з відомими фізичними закономірностями роботи імпульсних перетворювачів: теплові карти впливу параметрів (додаток Б) відтворюють очікувані залежності пульсацій від індуктивності, ємності та шпаруватості.

Повнота викладу результатів в опублікованих працях

За темою дисертації опубліковано 11 наукових праць: 6 праць, що містять основні наукові результати (5 статей у фаховому виданні категорії «Б» та стаття, індексована у Scopus і Web of Science), а також 5 праць апробаційного характеру, з яких доповідь на IEEE PES AUPEC 2025 індексується в Scopus і Web of Science. Кожне з трьох положень наукової новизни відображено щонайменше в одній статті у фаховому виданні. Особистий внесок здобувача в працях, виконаних у співавторстві, конкретизовано у додатку Е. Кількість і рівень публікацій відповідають вимогам до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

Результати апробовано на п’яти конференціях, зокрема на міжнародній конференції IEEE PES AUPEC 2025 та V Міжнародній конференції MC&FPGA-2023.

Структура та зміст дисертації

Дисертація обсягом 234 сторінки складається зі вступу, п’яти розділів, висновків, переліку умовних позначень, списку використаних джерел зі 156 найменувань і шести додатків; основний текст займає 169 сторінок. Структура роботи відображає логіку побудови інформаційної технології: розділ 1 визначає прогалини у підходах до діагностики, побудови двійників і верифікації; розділ 2 формує математичне ядро діагностичного методу та словник несправностей; розділ 3 забезпечує метод джерелом точного еталона й початкових порогів; розділ 4 обґрунтовує середовище експериментальної перевірки; розділ 5 замикає цикл експериментом, аналізом швидкодії та оцінюванням за коефіцієнтом готовності. Наскрізна діаграма потоків даних (рис. 3.10), що чітко розмежовує офлайн- і

онлайн-фази та три сховища даних, суттєво полегшує сприйняття роботи як цілісної технології.

Висновки до розділів і загальні висновки відповідають поставленим завданням. Анотація відображає основний зміст роботи.

Дотримання академічної доброчесності

Ознак академічного плагіату, фабрикації чи фальсифікації в дисертації не виявлено. Запозичені ідеї та результати супроводжуються посиланнями на джерела. Автор у вступі навів декларацію про використання інструментів штучного інтелекту з чітким зазначенням допоміжних задач, для яких їх застосовано, та прийняттям відповідальності за остаточний зміст, що відповідає сучасним вимогам академічної доброчесності.

Зауваження та дискусійні питання

Позитивно оцінюючи роботу в цілому, вважаю за потрібне звернути увагу на такі зауваження:

1. У пункті 3 наукової новизні здобувачем цілком обґрунтовано винесено «розвиток технологічних підходів до формування архітектури дистанційних інженерних лабораторій», що підкреслює саме наукову складову отриманого результату. Водночас у тексті розділу 4 «Вибір технології віддалених лабораторій для імплементації інформаційної технології діагностування відмов» дисертації акцент зміщено переважно на процедурну частину – розроблення методу багатокритеріального порівняльного аналізу. Здобувачу варто чіткіше окреслити взаємозв'язок між прикладним методом порівняння інформаційних технологій, представленим у розділі, та концептуальним розвитком архітектурних підходів, що винесений як наукова новизна.

2. Аналіз оприлюдненої анотації свідчить про високий науково-технічний рівень дисертаційного дослідження Байди В. Д., а структура викладу основного змісту за розділами дозволяє детально простежити логіку та послідовність

виконання роботи. Водночас у тексті анотації акцент зміщено переважно на реферативний переказ композиційної структури рукопису. Здобувачу варто було чіткіше окреслити результати дослідження крізь призму наскрізних методологічних категорій, безпосередньо виділивши об'єкт, предмет, методи дослідження, а також концептуальні елементи наукової новизни та практичного значення, як це передбачено загальними академічними підходами до представлення кваліфікаційних праць. Крім того, для повноти висвітлення здобутків автора у публічному просторі зміст документа доцільно було б доповнити кількісними показниками апробації результатів та публікаційної активності.

3. Щодо обсягу експериментальної перевірки локалізації деградації компонентів (підрозділ 5.2, додаток В). З 17 сценаріїв 11 стосуються зміни шпаруватості, вхідної напруги та опору навантаження, тобто режимних і керуючих параметрів, а не деградації компонентів. У тестах ємності та індуктивності відхилення вносилося не в реальний пристрій, а в параметр цифрового двійника, на одному й тому самому наборі даних і з екстремальними співвідношеннями (наприклад, 44 мкФ проти 0,0044 мкФ). Рекомендую в подальшому використати компоненти з прискореним старінням або послідовно ввімкнені резистори відомого номіналу.

4. У роботі наявні редакційні недоліки: непослідовно вживаються терміни «дистанційні» та «віддалені» лабораторії (зокрема в назві розділу 4), у додатку В значення коефіцієнта заповнення наведено без одиниць («D = 40 замість 50»), у табл. 2.4 порогові значення θ подано без зазначення одиниць вимірювання.

Наведені зауваження не ставлять під сумнів наукову новизну роботи, її практичну цінність та особистий внесок здобувача і не знижують загальної позитивної оцінки дисертації.

Загальні висновки

Дисертаційна робота Байди Владислава Дмитровича «Методи та інформаційна технологія діагностування відмов у напівпровідникових перетворювачах електроенергії на основі цифрових двійників» є самостійним завершеним науковим дослідженням, у якому розв'язано актуальне науково-прикладне завдання розроблення методів та інформаційної технології онлайн-діагностування перетворювачів електроенергії на основі цифрових двійників. Отримані результати мають наукову новизну, практичну цінність, апробовані та належним чином висвітлені в публікаціях здобувача.

За актуальністю, змістом, обсягом, рівнем новизни та оформленням робота загалом відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (зі змінами) та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами).

Вважаю, що здобувач Байда Владислав Дмитрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Офіційний рецензент:
кандидат технічних наук,
доцент, завідувач кафедри
інформаційних технологій
та програмної інженерії
Національного університету
«Чернігівська політехніка» Білоус Ірина Володимирівна