

РОЗРОБКА АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПОВІТРЯНОГО ЗАЗОРУ ГІДРОГЕНЕРАТОРІВ

Є. О. Зайцев¹, А. С. Левицький¹, Б. А. Кромпляс¹, В. Є. Сидорчук²

¹ Інститут електродинаміки НАН України

² Київський національний торговельно-економічний університет

Анотація. Наведено блок-схему і принцип роботи комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи контролю повітряного зазору гідрогенераторів типу СГК538/160–70М. Створено апаратно-програмне забезпечення системи. Застосування системи дозволяє підвищити автоматизацію та ефективність контролю повітряного зазору. Наведено результати експериментальних досліджень створеного дослідного зразка каналу системи на основі розроблених апаратно-програмних засобів.

Ключові слова: гідрогенератор, повітряний зазор, комп'ютеризована система, інформаційно-вимірювальна система, перетворювачі ємність-код (CDC).

Вступ

На сьогодні ефективний контроль повітряного зазору в гідрогенераторах є досить актуальною та перспективною задачею, вирішення якої дозволяє підвищити надійність роботи гідрогенераторів, а також значно скоротити час простой, пов'язаних з незапланованим ремонтом. За умови високої ефективності контролю стає можливим перехід від запланованих ремонтів до ремонтів згідно з фактичним станом генератора [7].

Для вирішення задачі контролю повітряного зазору в гідрогенераторах перспективним є створення сучасних спеціалізованих інформаційно-вимірювальних систем (ІВС). Основним призначенням ІВС, що розглядається, є проведення контролю повітряного зазору гідрогенератора під час роботи, налагодження, а також при проведенні технічного обслуговування. При цьому великий потенціал для контролю механічних вузлів гідрогенераторів мають комп'ютеризовані ІВС [2], які можуть, при наявності спеціалізованого програмного забезпечення здійснювати аналіз зміни повітряного зазору для кожного з полюсів ротора [1]. Застосування комп'ютеризованих ІВС при контролі дозволяє створювати та використовувати діагностичну базу даних на основі історії вимірювань повітряного зазору гідрогенератора. В свою чергу, для отримання вимірювальної інформації перспективним є використання спеціалізованих датчиків, що адаптовані до умов експлуатації та

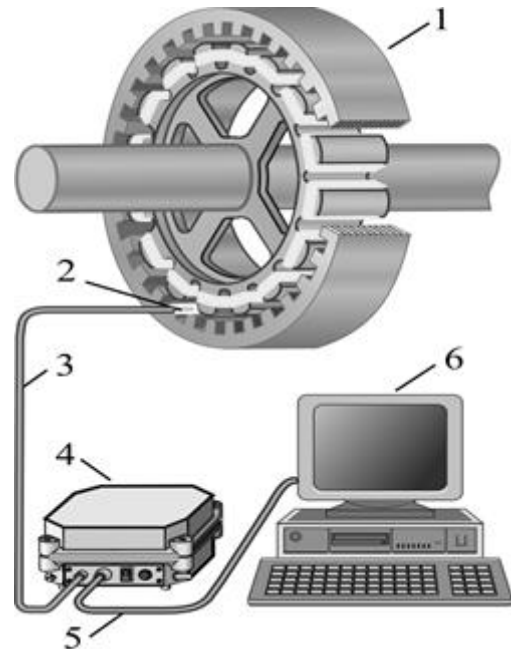


Рис.1. Схематичне розміщення датчиків повітряного зазору на гідрогенераторі

конструктивних особливостей вузлів гідрогенераторів. Найпоширенішим типом датчиків, що набув використання при вимірюванні повітряного зазору, на даний час є ємнісний [7, 9, 10, 13, 14]. При використанні зазначеного типу датчиків вони встановлюються на розточенні осердя статора, як зображено на рис.1 На рис.1. введено наступні умовні позначення: 1 – осердя статора гідрогенератора; 2 – ємнісний сенсор зазору; 3 – з'єднувальний кабель між сенсором та вторинним перетворювачем; 4 – вторинний вимірювальний перетворювач; 5 – з'єднувальний кабель між вторинним перетворювачем та комп'ютером (інформаційний кабель); 6 – електронно-обчислювальна машина. Електрична ємність

© Зайцев Є. О., Левицький А. С.
Кромпляс Б. А. Сидорчук В. Є. 2017

встановленого датчика залежить від величини повітряного зазору, тобто відстані між обвідною полюсів ротора та поверхнею розточення осердя статора гідрогенератора (рис.1). Наявність встановлених сенсорів дозволяє проводити контроль значення величини повітряного зазору в гідрогенераторі. Особливістю проведення такого контролю є наявність принаймні двох ємнісних давачів (датчиків) для вимірювання повітряного зазору в генераторах [11], які розташовані в одній горизонтальній площині під кутом 90° один до одного.

1. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Значний внесок у розвиток принципів, методів та засобів вирішення проблеми оцінки стану генераторів внесли вітчизняні та зарубіжні вчені: І. М. Постніков, А. К. Шидловський, Б. С. Стогній, Г. Г. Счастливий, О. І. Титко, М. В. Мислович, Г. М. Федоренко, А. С. Левицкий, І. О. Глебов, Я. Б. Данилевич, Е. Й. Гуревич, О. С. Голоднова, Ю. В. Зозулін, В. В., В. І. Мілих, М. Bissonnette, J. Lin, P. Talas, P. Toom, J. Rassmussen, B. Howard та ін. Так в роботах [3, 4, 6, 7, 15, 17, 19, 20] розглядається практичне застосування отриманих теоретичних результатів для побудови комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем механічних параметрів електрообладнання.

Одна з перших універсальних систем контролю стану гідроагрегату з додатковими сенсорами є система VIMOS (Vibration Monitoring System), яка була розроблена в 90-х роках минулого століття у шведському відділенні компанії ABB (ASEA-Brown Boveri Ltd.) для ГЕС Швеції. Система поряд з сенсорами вібрацій містить безконтактні сенсори переміщення напрямних підшипників по осях X і Y, сенсори переміщення під'ятників, а також сенсори контролю повітряного зазору між статором і ротором [6]. Для вирішення комплексного питання з автоматизації процесів керування та діагностики гідрогенераторів з можливістю оперативного захисту, прогнозування та контролю робочих процесів генеруючого обладнання компанія Emerson Electric (США) пропонує Smart систему CSI 6500 Machinery Health™ Monitor [19]. Загальний вид та наявний перелік функціональних можливостей системи представлений на рис. 2 [20]. Система має можливість налаштування апаратно-програмної частини під конкретний тип гідрогенератора. Початкова вартість базової версії комплексу складає 200 000 дол. [16].

В [14] описана система Air gap monitoring system AGT-525 компанії MC-monitoring SA (Швейцарія), що призначена для вимірювання повітряного зазору між ротором та статором гідрогенератора. Принцип роботи системи заснований на використанні ємнісного давача AGS-525. Ця система використовується на ГЕС "Iron Gate" Hydroelectric Power Station, яка знаходиться між Румунією та Сербією. Також з використанням ємнісних сенсорів побудована система Iris Power AGTracITM Continuous On-Line Air Gap Monitoring for Hydro Generators, що розроблена компанією Iris Power LP (Канада) [15].

Найбільш універсальним комплексом для безперервного контролю на сьогоднішній день є система моніторингу стану вузлів гідрогенератора ZOOM (Zero Outage On-line Monitor), розроблена компанією VibroSystM Inc. (Канада) [17]. Комплекс компанії використовується на багатьох ГЕС десятків країн світу [6], так наприклад, комплекс застосовується компанією Electronorte (Бразилія) [18].

Більшість розглянутих робіт [15, 17, 19, 20] присвячені комп'ютеризованим інформаційно-вимірювальним системам, що здійснюють вимірювання повітряного зазору тільки на певних типах гідрогенераторів. Тому для вимірювання повітряного зазору на поширених типах гідрогенераторів, що використовуються в Україні, авторами в [3, 4] запропоновано загальну структуру комп'ютеризованої ІВС повітряного зазору, що насамперед зумовлено не тільки потребою вітчизняної гідроенергетики в сучасних комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних системах механічних параметрів, але й потребою в розробці високоточних і достовірних вимірювальних систем для потреб енергетики, які забезпечать Україні незалежність від зарубіжних аналогів.

2. Мета статті

Метою даної роботи є розробка апаратно-програмних засобів комп'ютеризованої ІВС контролю повітряного зазору з урахуванням конструктивних особливостей гідрогенераторів типу СГК538/160–70М для забезпечення підвищення ефективності контролю повітряного зазору.

3. Вирішення проблеми

Перспективним напрямком побудови систем контролю повітряного зазору капсульних гідро-

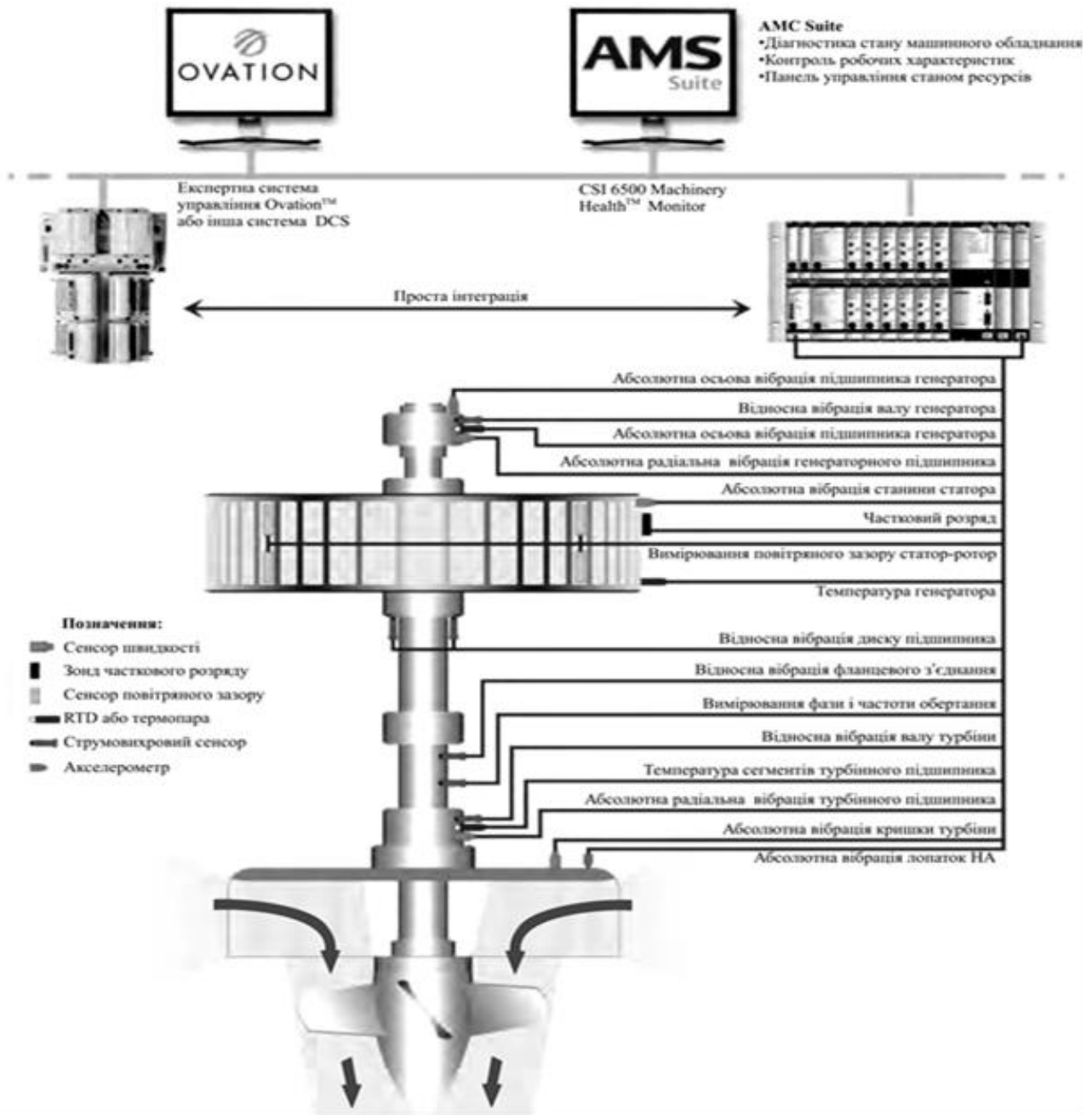


Рис. 2. Smart система CSI 6500 Machinery Health™ Monitor

генераторів типу СГК538/160–70М є використання комп'ютеризованих ІВС з використання спеціалізованих датчиків в якості первинних сенсорів. При використанні в якості первинного перетворювача запропонованого авторами ємнісного давача необхідно забезпечити перетворення аналогової величини давача в цифровий код із збереженням динамічного діапазону. В [4] авторами використано міст змінного струму типу P5083 для вимірювання та перетворення значення ємності давача в код. Але при використанні моста змінного струму типу P5083 в якості первинного перетворювача неможливо побудувати компакту систему контролю з можливістю за-

безпечення аналізу зміни стану повітряного зазору залежно від внутрішніх та зовнішніх факторів. Для забезпечення побудови компактної системи контролю пропонується використати ємнісний давач [11] у сукупності з поширеними мікросхемами-перетворювачами ємність–код (CDC). Тоді в загальному вигляді блок-схема комп'ютеризованої ІВС для контролю повітряного зазору в гідрогенераторах буде мати вигляд приведений на рис. 3. На блок-схемі (рис. 3) прийняті наступні умовні позначення: C_1 , C_2 – ємнісні давачі повітряного зазору між статором та ротором; ПЕК₁, ПЕК₂ – перетворювачі типу CDC; ППЗД – пристрій перетворення та збиран-

ня даних; БКПМЗ – блок керування та програмно-математичного забезпечення; БДЦВ – блок емнісних датчиків з цифровим виходом; ІВС – інформаційно-вимірювальна система.

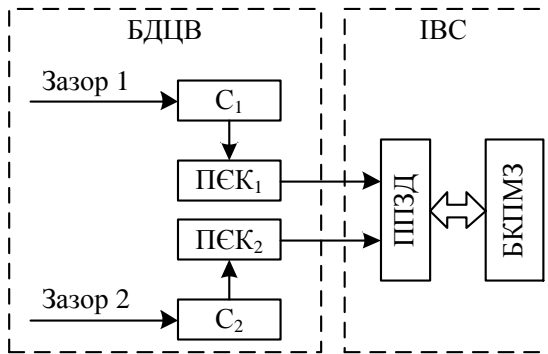


Рис. 3. Блок-схема ІВС контролю повітряного зазору гідрогенератора

Конструктивно ІВС контролю повітряного зазору гідрогенератора складається з двох основних частин – емнісного датчика з цифровим виходом (ДЦВ) в якості первинного перетворювача та безпосередньо ІВС в якості блоку вторинної обробки отриманої від первинних перетворювачів інформації при контролі повітряного зазору. Для первинної обробки сигналу розроблений та виготовлений ДЦВ, який конструктивно складається з оригінального емнісного датчика [11] та ПЄК на основі мікросхеми 24-розрядного сигма-дельта перетворювача емність-код "AD7745" з вбудованим сенсором температури. На первинний блок обробки інформації покладені функції перетворення значення емності від відстані (повітряного зазору) між загальною площиною електродів сенсора та поверхнею ротора гідрогенератора в цифровий код з подальшою передачею цифрового коду в пристрій перетворення та збирання інформації (ППЗД).

Для вторинної обробки сигналу використовується ІВС, яка складається з пристрою перетворення та збирання даних (ППЗД), блоку керування та програмно-математичного забезпечення (БКПМЗ), бази даних (БД) та бази знань (БЗ). ІВС призначена для управління перетворювачами емність-код типу CDC при передачі інформації від ДЦВ до ППЗД з метою її подальшої обробки на основі спеціалізованого програмно-математичного забезпечення БКПМЗ.

4. Апаратна частина

При розробці апаратної частини комп'ютеризованої ІВС контролю повітряного зазору гідрогенераторів більша частина блоків системи, що зображені на рис.1, проектувалась

на основі компонентів, що серійно випускаються. При цьому враховувалось, що конструктивні та метрологічні характеристики дослідного зразка вимірювальної системи повинні задовольняти умовам використання на гідрогенераторі СГК538 / 160-70М [5].

Конструктивна схема апаратної частини комп'ютеризованої ІВС для вимірювання повітряного зазору в гідрогенераторах наведена на рис. 4, на якому прийняті наступні умовні позначення: C_1 , C_2 – емнісні сенсори повітряного зазору між статором та ротором; 1 – високопотенційний електрод емнісного датчика; 2 – низькопотенційний електрод емнісного датчика; 3 – охоронний електрод емнісного датчика; ПЄК₁, ПЄК₂ – перетворювачі емність-код; МК₁, МК₂, МК₃ – мікроконтролери; ПВІ – пристрій виводу інформації; ПВВ – пристрій вводу інформації; ЖД – жорсткий диск; ЕОМ СКПЗ – електронно-обчислювальна машина ІВС контролю повітряного зазору.

Апаратна частина комп'ютеризованої ІВС складається із стандартного мікропроцесора МК₃ типу AtMega16, призначеного для керування роботою мікропроцесорів МК₁ та МК₂, модулів ДЦВ типу AtMega16 збору та обробки інформації з модулів ДЦВ та передачі даних через USB-інтерфейс для подальшої статистичної обробки. Мікропроцесор МК₃ підтримує підключення до 4 первинних модулів ДЦВ при використанні стандартного інтерфейсу RS232 або підключення більшої кількості ДЦВ при використанні інтерфейсу RS485. При використанні останнього з'являється можливість нарощування кількості ДЦВ та проводити контроль в необхідній кількості точок залежно від типу генератора. Параметри, пов'язані з керуванням роботою ІВС, та передача зібраних даних МК₃ для подальшої вторинної обробки в ЕОМ СКПЗ здійснюється за допомогою конвертора USB-RS232 (асинхронний приймач-передавач). В якості вторинного перетворювача вимірювальної інформації, тобто ЕОМ системи контролю повітряного зазору, доцільно використати персональний комп'ютер із стандартною операційною системою Windows, що дозволить підвищити функціональність та забезпечити сумісність розроблених програмно-математичних засобів.

Таким чином, апаратна частина реалізована на основі стандартних рішень, що дозволяє адаптувати ІВС контролю повітряного зазору до гідрогенератора.

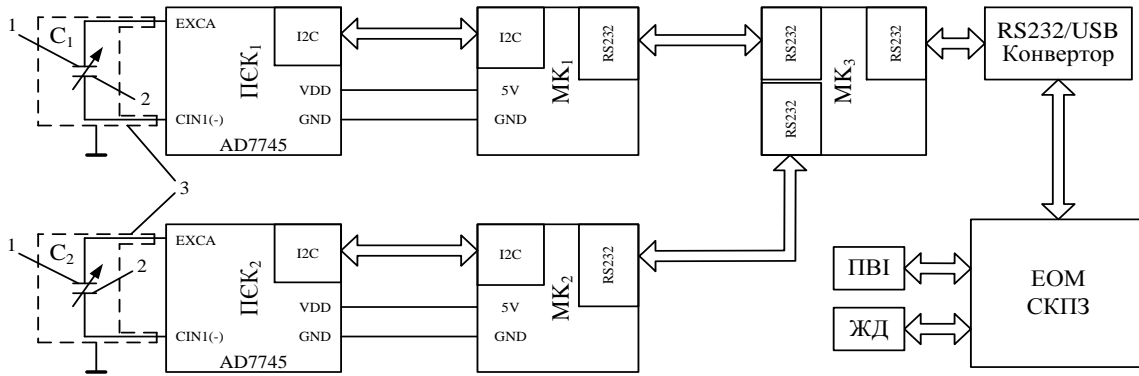


Рис. 4. Конструктивна схема комп'ютеризованої ІВС контролю повітряного зазору

5. Програмна частина

Програмна частина ІВС контролю повітряного зазору в гідрогенераторі типу СГК538/160–70М складається з функціональних програмних модулів, які здійснюють керування роботою мікросхеми 24-розрядного сигма-дельта перетворювача смінь-код "AD7745" та інших апаратно-

програмних модулів ІВС контролю повітряного зазору, первинну обробку, збір та передачу даних від перетворювачів до пристрою, призначеного для вторинної статистичної обробки отриманих даних, їх аналіз, зберігання та відображення результатів аналізу в доступній для оператора формі.

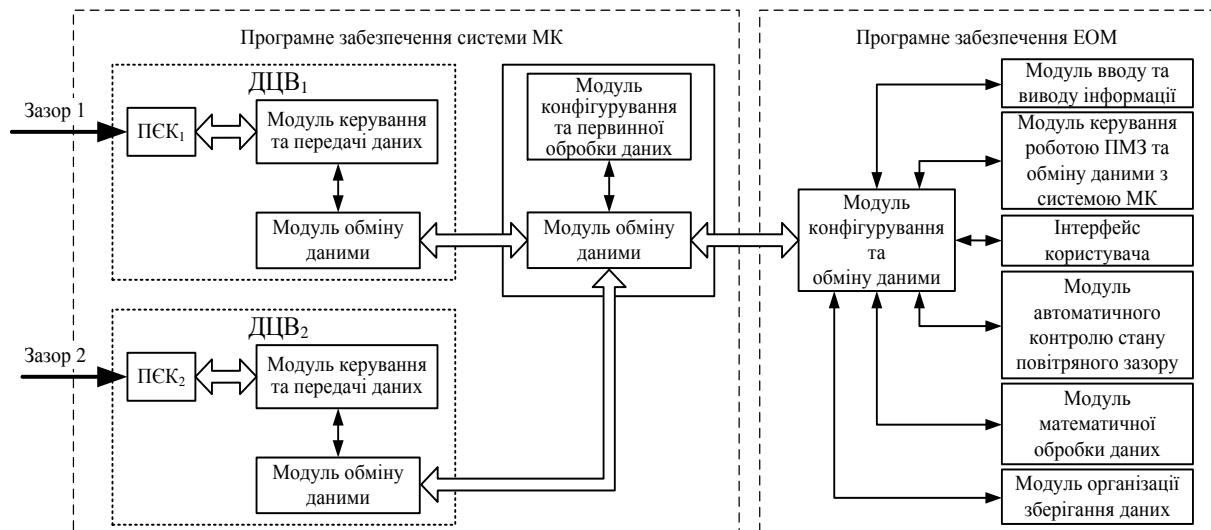


Рис. 5. Узагальнена структурна схема програмної частини комп'ютеризованої ІВС контролю повітряного зазору

Структурна схема програмної частини комп'ютеризованої ІВС контролю повітряного зазору представлена на рис.5. Структурна схема програмної частини складається з двох основних частин: програмного забезпечення системи МК (первинний модуль збору та обробки даних) і програмного забезпечення ЕОМ (вторинний модуль збору, обробки та аналізу даних).

У свою чергу, програмне забезпечення системи МК (первинний модуль збору та обробки даних) складається з частин: модуля ПЗ ПСК і керування роботою ПСК, модуля конфігурації системи МК, модуля первинної обробки сигналу

та модулю обміну даними між апаратно-програмними засобами системи МК та ЕОМ СКПЗ. Модуль керування роботою ПСК забезпечує роботу перетворювача смінь-код "AD7745" відповідно до алгоритму функціонування, описаного в [12], та здійснює зчитування цифрових даних з ПСК, який входить до ДЦВ, до МК. Модуль обміну даними призначений для забезпечення організації обміну даними між апаратно-програмними засобами системи МК та ЕОМ СКПЗ. Модуль первинної обробки сигналу призначений для формування єдиного масиву даних з отриманих від ДЦВ даних з метою ство-

рення такого масиву, якого необхідно і достатньо для подальшого вирішення завдань обробки і аналізу про стан повітряного зазору та його значення. Модуль конфігурації забезпечує зв'язок МК₃ з ЕОМ СКПЗ для отримання сигналів керування за допомогою інтерфейсу зв'язку (конвертора USB-RS232).

Програмне забезпечення ЕОМ СКПЗ складається з наступних основних частин: модуля вводу та виводу інформації, інтерфейсу користувача, модуля керування роботою ПМЗ та обміну даними з системою МК, модуля автоматичного контролю стану повітряного зазору, модуля математичної обробки даних, модуля організації зберігання даних.

Модуль математичної обробки призначений для проведення операцій обчислення повітряного зазору між ротором й визначеним полюсом статора та спостереження за поведінкою поточного значення повітряного зазору в режимі осцилографа. Наступна обробка отриманих даних відбувається у модулі автоматичного контролю стану повітряного зазору, який призначено для проведення контролю значення величини повітряного зазору та аналізу його стану та зміни. В свою чергу, отримана при роботі модуля математичної обробки та модуля автоматичного контролю стану повітряного зазору інформація передається в модуль організації зберігання даних для ведення бази даних на основі історії вимірювань повітряного зазору. В даному випадку з'являється можливість створення баз знань з діагностичними ознаками, які залежать від значення повітряного зазору та відповідають певному стану енергетичного обладнання.

Модуль керування роботою ПМЗ та обміну даними з системою МК має аналогічні функції модуля системи МК. Відмінністю цього модуля є наявність транспортного компонента, який призначений для сполучення програмного забезпечення із стандартними інтерфейсами зв'язку ЕОМ.

Зв'язок системи МК і ЕОМ СКПЗ здійснюється за допомогою розробленого протоколу зв'язку, який входить до модуля вводу та виводу інформації, завдяки якому можна реалізувати розгалужену систему збору даних з первинних модулів. Також модуль вводу та виводу інформації призначений для організації обміну між модулями програмного забезпечення ЕОМ СКПЗ.

Для реалізації програмного забезпечення та інтерфейсу користувача ЕОМ СКПЗ гідрогенераторів розроблено та створено програмний дода-

ток з інтерфейсом користувача в середовищі графічного програмування LabVIEW [8]. Перевагою створеного програмного додатку є:

- висока точність вимірювання параметрів сигналів;
- можливість запам'ятовування епюри сигналу за довільний час;
- можливість статистичної обробки результатів вимірювань;
- можливість порівняння поточних даних з попередньо записаними;

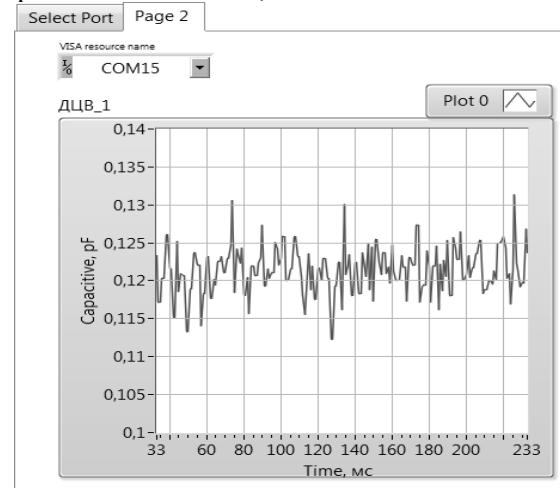


Рис. 6. Інтерфейс користувача комп'ютеризованої ІВС контролю повітряного зазору

- можливість архівації результатів вимірювань і створення звітів;
- вибору порту підключення системи МК до ЕОМ СКПЗ;
- можливість роздруківки графіків.

Інтерфейс користувача, створеного програмного додатку в середовищі LabVIEW, зображено на рис. 6 та призначено для перегляду на екрані монітору ЕОМ СКПЗ поточної інформації про стан повітряного зазору у вигляді значення ємності, що вимірюється ДЦВ.

6. Дослідний зразок

Експериментальні дослідження запропонованого програмно-апаратного забезпечення ІВС контролю повітряного зазору для гідрогенераторів були проведені у лабораторних умовах при випробуваннях створеного дослідного зразка каналу ДЦВ на основі запропонованого авторами спеціального програмно-апаратного забезпечення системи МК та ЕОМ. На рис. 7 приведено зовнішній вигляд діючого макету апаратно-програмного забезпечення ІВС контролю повітряного зазору.

При проведенні лабораторних досліджень повітряний зазор між ротором та статором в гідрогенераторі задавався за допомогою мікрометричної головки, як значення повітряного зазору між площиною електродів сенсора та площиною,

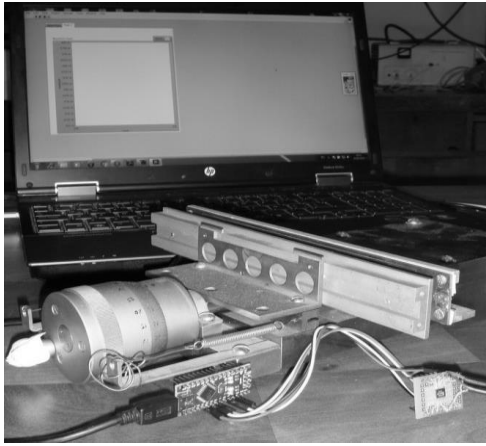


Рис. 7. Зовнішній вигляд макета апаратно-програмного забезпечення ІВС контролю повітряного зазору

що імітує заземлену поверхню полюса ротора капсульного гідрогенератора типу СГК538/160–70М. Отримані в процесі проведення експериментальних досліджень діючого дослідного зразка дані при незмінному положенні мікрометричної головки в режимі реального часу приведені на рис. 8.

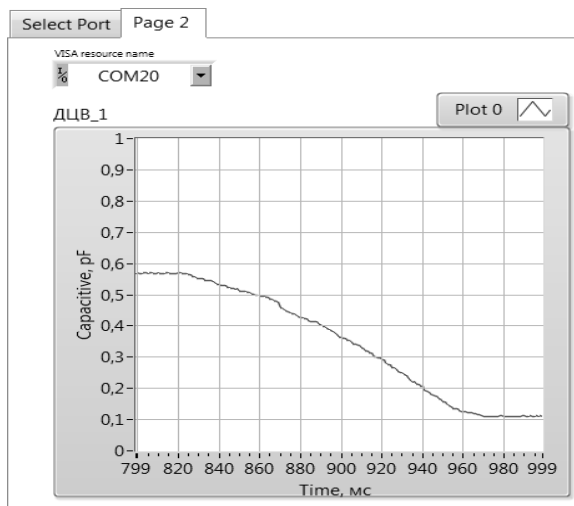


Рис. 8. Графік отриманої зміни електричної ємності при зміні повітряного зазору в режимі реального часу

На рис. 9. приведено графік вимірювання електричної ємності C_{12} між електродами 1 і 2 (рис. 4) під час зміни зазору d за допомогою мікрометричної головки в діапазоні від 2 до 10 мм.

В результаті проведених досліджень отримано 20 базових точок для розрахунку експери-

ментальної функціональної залежності значення ємності від значення повітряного зазору. Результати вимірювань з осередненням результату вимірювання з 100 однократних вимірювань для ємностей: C_{12I} – при прямій зміні зазору d та C_{123} – при зворотній зміні зазору d та їх середня величина ємності $C_{12C}=(C_{12I}+C_{123})/2$. Графік експериментально отриманої залежності $C_{12C}=f(d)$ в порівнянні з теоретично розрахованою залежністю $C_{12}=f(d)$ в [5] приведено на рис. 9.

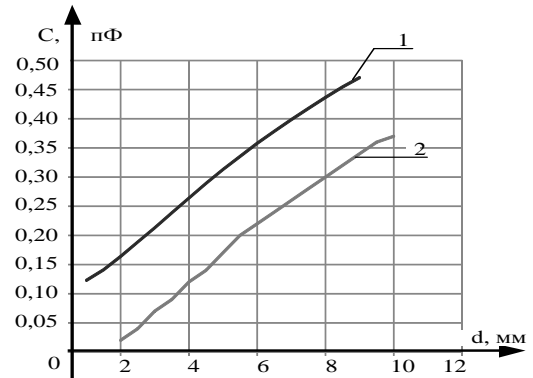


Рис. 9. Графіки залежності електричної ємності від значення повітряного зазору:

- 1 – експериментальна залежність $C_{12C}=f(d)$;
2 – розрахункова залежність $C_{12}=f(d)$.

Зміщення експериментальної кривої зумовлено наявністю паразитної неінформативної ємності через діелектричну підкладку, на якій сформовано електроди сенсора. Вплив цієї ємності компенсується мікропроцесором ДЦВ.

Висновки

Отримані результати при лабораторних дослідженнях запропонованих та розроблених програмно-апаратних засобів ІВС контролю повітряного зазору підтверджують:

– працездатність запропонованих авторами рішень;

– можливість застосування запропонованих та розроблених програмно-апаратних засобів комп'ютеризованої ІВС контролю повітряного зазору для вимірювання та контролю повітряного зазору між статором та ротором в капсульному гідрогенераторі типу СГК 538/160-70М в діапазоні 6 ± 4 мм.

Окрім того, використання стандартних компонентів при розробці системи контролю повітряного зазору в гідрогенераторах дозволяє скоротити час розробки системи в цілому, дає можливість працювати зі стандартними апаратно-програмними засобами, а також дозволяє зменшити собівартість системи та забезпечити її гнучкість до модернізації при подальшій експлуатації.

Список використаної літератури

1. Алексеев, Б. А. Определение состояния (диагностика) крупных гидрогенераторов / Б. А. Алексеев. – 2-е изд., стер. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. – 144 с.
2. Бабак, С. В. Статистическая диагностика электротехнического оборудования [Текст] : Монография / С. В. Бабак, М. В. Мыслович, Р. М. Сысак; НАНУ, ИЭД.– К. : ИЭД НАНУ, 2015. – 456 с.
3. Зайцев, Є. О. Комп'ютеризована система моніторингу механічних параметрів електрообладнання [Текст] / Є. О. Зайцев // Збірник тез доповідей XIII міжнародної конференції "Контроль і управління в складних системах" (КУСС-2016), м. Вінниця, 3–6 жовтня 2016 р. – Вінниця : ІВЦ ВНТУ, 2016. – С. 116–118.
4. Зайцев, Є. О., Левицький, А. С., Кромпляс, Б. А. Експериментально-теоретичні дослідження ємнісного сенсору повітряного зазору для гідрогенераторів методами регресійного аналізу [Текст] / Є. О. Зайцев, А. С. Левицький, Б. А. Кромпляс // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2016. – № 2. – С. 34–40.
5. Левицький, А. С. Визначення функції перетворення ємнісного сенсора повітряного зазору в гідрогенераторі СГК 538/160-70М [Текст] / А. С. Левицький, Є. О. Зайцев, Б. А. Кромпляс // Пр. Ін-ту електродинаміки НАНУ : Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ, 2016. – Вип. 43. – С. 134–136.
6. Левицький, А. С. Підвищення ефективності контролю та діагностики потужних гідрогенераторів за рахунок застосування ємнісних вимірювачів параметрів механічних дефектів [Текст] / А. С. Левицький // Гідроенергетика України. – 2010. – № 4. – С. 10–13.
7. Левицький, А. С., Федоренко, Г. М., Грубой, О. П. Контроль стану потужних гідро- та турбогенераторів за допомогою ємнісних вимірювачів параметрів механічних дефектів [Текст] / А. С. Левицький, Г. М. Федоренко, О. П. Грубой; НАНУ, ІЕД. – К. : ІЕД НАНУ, 2011. – 242 с.
8. Трэвис, Дж., Кринг, Дж. LabVIEW для всех [пер. с англ.] / Дж. Трэвис, Дж. Кринг. – М. : ДМК Пресс, 2010. – 880 с.
9. Griščenko, Marina. Air gap monitoring unit generator to advance vibration diagnostic procedure [Text] / Marina Griščenko.; Summary of the Doctoral Thesis. – R. : RTU, 2015. – 20 p.
10. Volkovas, Vitalijus, Mikalauskas, Robertas, Eidukeviciute, Marija. Air gap measuring system for purpose of diagnostics and condition monitoring [Text] / Vitalijus Volkovas, Robertas Mikalauskas, Marija Eidukeviciute // Thesis conference 3rd International Congress of Technical Diagnostics', Poznan, 6-9 September 2004. – Poznan : PUT, 2004. – vol. 30, tom 2, pp.169–174.
11. Заявка на патент України, МКИ G01B7/14. Ємнісний сенсор для вимірювання повітряного зазору в генераторах [Текст] / Левицький А. С., Зайцев Є. О., Кромпляс Б. А.; заявник Інститут електродинаміки НАН України. – № а 2016 03404 ; заявл. 01.04.2016.
12. 24-Bit Capacitance-to-Digital Converter with Temperature Sensor Analog Devices [Electronic Resource]. – Access Mode : http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD7745_7746.pdf
13. Air Gap. Capacitive Measuring Chains [Electronic Resource]. – Access Mode : <http://vibrosystem.com/wp-content/uploads/9628-25D1A-103.pdf>
14. Air Gap Monitoring System [Electronic Resource]. – Access Mode : <http://pdf.directindustry.com/pdf/mc-monitoring/agt-525/163977-644798.html>
15. Continuous On-Line Air Gap Monitoring for Hydro Generators [Electronic Resource]. – Access Mode : <http://www.irispower.com/Upload/Brochures/AGTracII%20V1-Mar%202013.pdf>
16. Nower D. Online Vibration Monitoring [Electronic Resource]. – Access Mode : http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Articles/MaintWorld_May13_OnlineVibMonir.pdf
17. On-line Monitoring of Hydro Generating Units for Optimized Operation and Maintenance [Electronic Resource]. – Access Mode : http://www.vibrosystem.com/pdf/Zoom_e.pdf
18. Rolim F., Tetreault A., Marshall R. Air gap monitoring system key element to correctly diagnose generator problems / F. Rolim, A. Tetreault, R. Marshall [Electronic Resource]. – Access Mode : <http://vibrosystem.com/wp-content/uploads/PA003-a.pdf>
19. Process Management Emerson [Electronic Resource]. – Access Mode : <http://www.strongarm.su/Docs/kip.pdf>
20. Process Management Emerson [Electronic Resource] Система інтелектуального контролю стану машинного обладнання Smart Machinery Health Management. – Access Mode : http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Asset%20Optimization%20Documents/ProductBrochuresAndFlyers/6500_br_OnlineHydroMach-ru.pdf

References

1. Alekseev, B. A. (2002) Determining the status (diagnostics) of large hydro generators [Opredelenie sostoyaniya (diagnostika) krupnykh gidrogeneratorov], 2nd ed., ster., NTs ENAS, Moscow, 144 p.
2. Babak, S.V., Myslovich, M. V., Sysak, R. M. (2015), "The statistical diagnostics of the electrotechnical equipment" [Statisticheskaya diagnostika elektrotekhnicheskogo oborudovaniya], *IED NANU*, Kiev, 456 p.
3. Zaitsev, I. O. (2016), "The computerized monitoring system of the mechanical parameters of electrical equipment" [Komp'yuteryzovana systema monitoryngu mekhanichnykh parametriv elektroobladnannja], In: Kontrol' i upravlinnja v skladnykh systemakh, Vinnitsa, October, 3-6, 2016, IVC VNTU, Vinnitsa, pp. 116–118.
4. Zaitsev, I. O., Levytskii, A. S., Kromplyas, B. A. (2016), "Experimental and theoretical research of capacitive sensor for measurement air gap hydro-generators based on regression analysis" [Eksperimental'no-teoretichni doslidzhennya jemnisnogo sensoru povitryanogo zazoru dlya gidrogeneratoriv metodami regresijnogo analizu], Vymirjuval'na ta obchysljuval'na tehnika v tehnologichnyh procesah, № 2, pp. 34–40.
5. Zaitsev, I. O., Levytskii, A. S., Kromplyas, B. A. (2016), "Determination of the response characteristic of the capacitive sensor of the air gap in the hydrogenerator CGK 538/160-70M" [Viznachennya funktsii peretvorennya jemnisnogo sensora povitryanogo zazoru v gidrogeneratori SGK 538/160-70M], Zb. nauk. pr. IED NANU, № 43, pp. 134–136
6. Levytskii, A. S. (2010), "Enhancing the effectiveness monitoring and diagnosis by the use capacitive parameters meter mechanical defects in the powerful hydrogenerator" [Pidvyshhennja efektyvnosti kontrolju ta diagnostyky potuzhnykh gidrogeneratoriv za rahunok zastosuvannja jemnisnykh vymirjuvachiv parametriv mekhanichnykh defektiv], *Gidroenergetyka Ukrainy*, № 4, pp. 10–13.
7. Levytskii, A. S., Fedorenko, G. M., Gruboj, O. P. (2011), "Monitoring of the status of powerful hydro and turbo generators using capacitive meter for the parameters of mechanical defects" [Kontrol' stanu potuzhnykh gidro- ta turbogeneratoriv za dopomoguju jemnisnykh vymirjuvachiv parametriv mekhanichnykh defektiv], *IED NANU*, Kyi'v, 242 p.
8. Travis J., Kring J. (2010), LabVIEW for everyone: graphical programming made easy and fun, Trans. from Eng. 4th ed. [LabVIEW dlja vseh. Per. s angl. 4th ed.], DMK Press, Moscow, 880 p.
9. Griščenko Marina. Air gap monitoring unit generator to advance vibration diagnostic procedure, Summary of the Doctoral Thesis, RTU, R, 20 p.
10. Volkovas, V., Mikalauskas R., Eidukeviciute, M. (2004), Air gap measuring system for purpose of diagnostics and condition monitoring. In: 3rd International Congress of Technical Diagnostics, Poznan, September, 6-9, 2004, PTDT, Poznan, vol. 30, tom 2, pp. 169–174.
11. Levytskii, A. S., Zaitsev, I. O., Kromplyas, B. A. (2016), "Capacitive sensor for measuring air gap between stator and rotor generators" [Jemnisnyj sensor dlja vymirjuvannja povitranogo zazoru v generatorakh], MKI G01B7/14 № a 2016 03404
12. Ahead of What's Possible™ (2016), 24-Bit Capacitance-to-Digital Converter with Temperature Sensor, available at: http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD7745_7746.pdf
13. VM™ (2015), Air Gap. Capacitive Measuring Chains, available at: <http://vibrosystem.com/wp-content/uploads/9628-25D1A-103.pdf>
14. MC™ (2016), Air Gap Monitoring System, available at: <http://www.mc-monitoring.com/sensors/airgap-sensors.html>
15. Iris Power AGTracII™ (2013), Continuous On-Line Air Gap Monitoring for Hydro Generators , available at: <http://www.irispower.com/Upload/Brochures/AGTracII%20V1-Mar%202013.pdf>
16. Nower D. (2013), Online Vibration Monitoring, available at: http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Articles/MaintWorld_May13_Online_VibMonitor.pdf
17. VSM (2016), On-line Monitoring of Hydro Generating Units for Optimized Operation and Maintenance, available at: http://www.vibrosystem.com/pdf/zoom_e.pdf
18. Rolim F., Tetreault A., Marshall R. (2004), Air gap monitoring system key element to correctly diagnose generator, available at: <http://vibrosystem.com/wp-content/uploads/PA003-a.pdf>
19. Emerson (2016), Process Management, available at: <http://www.strongarm.su/Docs/kip.pdf>
20. Emerson (2016), Sistema intelektual'nogo kontrolya sostoyaniya mashinnogo oborudovaniya Smart Machinery Health Management, available at: http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Asset%20Optimization%20Documents/ProductBrochuresAndFlyers/6500_br_OnlineHydroMach_ru.pdf

DEVELOPMENT OF THE HARDWARE AND SOFTWARE SOLUTION FOR SYSTEM OF CONTROL AIR GAP IN THE HYDROGENERATORS

¹ O. Zaitsev¹, A. S. Levytskyi¹, B. A. Kromplyas¹, V. I. Sydorчук²

¹ The Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine

² Kyiv national university of trade and economics

Abstract. The subject of paper. The subject of paper is the methods of solving the actual problem of control the air gap in the hydrogenerators. These methods are used for improve the efficiency work of the hydrogenerators and reduce downtime caused by unscheduled repairs. In case high efficiency control is possible to transition from the planned repairs to repairs according to the the actual state of the generator. **The methodology of problem solving in the paper.** To solve the problem of control the air gap in the hydrogenerators use computerized specialized measuring control system. In this system can perform analysis of changes in the air gap for each pole of the rotor used specialized software. **The objective of the paper.** The objective of this paper is to develop hardware and software solution for computerized control system of the air gap in the hydrogenerator for improving the efficiency of control. For analysis the changes in the air gap for each pole of the rotor in the system use specialized development software. For obtain measurement data proposed to use an original capacitive sensor that is adapted to the conditions and structural features in the hydrogenerator. Installed sensors is enables to control value of the air gap in the hydrogenerator. Sensors are located in a horizontal plane of 90^0 at an angle to each other. **Solution.** Use the computerized measuring equipment with specialized capacitive sensors as primary sensor is the perspective direction for building the systems of control the air gap in the hydrogenerator type СГК 538/160-70М. To convert the analog signal of the capacitive sensor into digital code while maintaining the measurement range is used Capacitance-to-Digital Converter with Temperature Sensor AD7745. For construction of the hardware control system uses original capacitive sensor in combination with Capacitance-to-Digital Converter. For construction of the developed software for control system used graphical development environment LabVIEW. **Conclusions.** The results of experimental laboratory research proposed and developed software and hardware control system of air gap in the hydrogenerator confirm—working ability the proposed solutions;— possibility for application the proposed and developed software and hardware solution for development the computerized control system the air gap between the stator and rotor in the hydrogenerators in the range 6 ± 4 mm of air gap.

Key words: hydrogenerator, air gap, computerized information-measuring system, information-measuring system, Capacitance-to-Digital Converter (CDC).

РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

Е. А. Зайцев¹, А. С. Левицкий¹, Б. А. Кромпьяс¹, В. Е. Сидорчук²

¹ Институт электродинамики НАН Украины

² Киевский национальный торгово-экономический университет

Аннотация. Приведена блок-схема и принцип работы компьютеризированной информационно-измерительной системы контроля воздушного зазора гидрогенераторов типа СГК538/160-70М. Создано аппаратно-программное обеспечение системы. Применение системы позволяет повысить автоматизацию и эффективность контроля воздушного зазора. Приведены результаты экспериментальных исследований созданного опытного образца канала системы на основе разработанных аппаратно-программных средств.

Ключевые слова: гидрогенератор, воздушный зазор, компьютеризированная информационно-измерительная система, преобразователь емкость–код (CDC).

Отримано: 17.10.2016



Зайцев Євген Олександрович, кандидат технічних наук, с. н. с., старший науковий співробітник відділу електричних та магнітних вимірювань Інституту електродинаміки НАН України, 03680, м. Київ, проспект Перемоги, 56, E-mail: zaitsev@i.ua, тел.: +38-068-240-25-73

Ievgen Zaitsev, Ph. D., Senior Research Fellow, Senior Research Fellow of Department of electrical and magnetic measurements of the Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine, Peremogy prospekt, 56, Ukraine, 03680, Kiev - 57, Ukraine, 03680

ORCID ID: 0000-0003-3303-471X



Левицький Анатолій Станіславович, доктор технічних наук, с. н. с., провідний науковий співробітник відділу електричних та магнітних вимірювань Інституту електродинаміки НАН України, 03680, м. Київ, проспект Перемоги, 56, E-mail: lev@ied.org.ua, тел.: +38-044-366-24-92

Anatolii Levytskii, Sc. D., Senior Research Fellow of Department of electrical and magnetic measurements of the Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine, Peremogy prospekt, 56, Kiev - 57, Ukraine, 03680

ORCID ID: 0000-0002-0146-9498



Кромпляс Богдан Антонович, кандидат технічних наук, с. н. с., старший науковий співробітник відділу електричних та магнітних вимірювань Інституту електродинаміки НАН України, 03680, м. Київ, проспект Перемоги, 56, E-mail: b_kromp@i.ua, тел.: +38-097-502-49-00

Bogdan Kromplyas, Ph. D., Senior Research Fellow, Senior Research Fellow of Department of electrical and magnetic measurements of the Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine, Peremogy prospekt, 56, Kiev - 57, Ukraine, 03680

ORCID ID: 0000-0001-7164-8056



Сидорчук Володимир Євгенович, кандидат технічних наук, доцент кафедри програмної інженерії та інформаційних систем Київського національного торговельно-економічного університету, 02156, м. Київ, вул. Кіото, 19, E-mail: sudorchyk@ipnet.ua, тел.: +38-050-334-19-19

Volodymyr Sydorчук, Ph. D., Associate Professor of Department of program engineering and information systems of Kyiv national university of trade and economics, Kyoto str., 19, Kyiv, Ukraine, 02156,

ORCID ID: 0000-0002-1261-0725