



УДК 62-791.2

DOI: 10.37128/2520-6168-2020-2-14

**МЕТОД ТА ЗАСІБ ПРЯМОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО  
КОНТРОЛЮ ІЗОЛЯЦІЇ ОБМОТОК ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН**

**Граняк Валерій Федорович**, к.т.н., доцент  
**Купчук Ігор Миколайович**, к.т.н., ст. викладач  
**Гонтар Володимир Григорович**, магістр  
Вінницький національний аграрний університет

**Hraniak Valerii**, PhD., Associate Professor  
**Ihor Kupchuk**, PhD., Senior lecturer  
**Hontar Volodymyr**, Master  
Vinnytsia National Agrarian University

*На сьогоднішній день переважна більшість технологічних процесів, як виробництва, так і сільського господарства, ґрунтується на використанні електричних машин. Серед яких значна частина виробничого обладнання потребує використання електричних двигунів, потужність яких перевищує сотні кіловат. Своє поширення такі електричні машини набули і у якості генеруючого обладнання, що є складовою частиною електричних станцій, як тих, що використовують традиційні джерела енергії (ТЕС, АЕС тощо), так і альтернативних (ГЕС, ВЕС тощо), де одинична потужність окремої електричної машини, зазвичай, є вищою ніж у інших галузях застосування.*

*При експлуатації такого обладнання доволі часто застосовуються системи контролю значної кількості технологічних параметрів, які у реальному часі характеризують режими їх роботи. Зазначений підхід дозволяє підвищити надійність експлуатації та, з доволі високою імовірністю, уникнути масштабних техногенних загроз, що можуть бути викликані аварійним виходом з ладу силових електричних машин (у тому числі і потужних електрогенераторів), які доволі часто супроводжується руйнуванням опорних конструкцій, конструктивних елементів виробничих приміщень та можуть нести загрозу для життя та здоров'я виробничого персоналу. Про те використання навіть найсучасніших систем контролю технічного стану не забезпечує стовідсоткової вірогідності, а при експлуатації електричних машин номінальною потужністю порядку одиниць МВт та нижче їх застосування може суттєво збільшувати загальну вартість обладнання при все ще достатньо високому рівні виникнення серйозної техногенної аварії. Тож розробка прямих методів та засобів вимірювання технічних параметрів електричних машин загалом, та параметрів ізоляції зокрема, є актуальною науково-прикладною задачею.*

*У роботі запропоновано новий метод прямого автоматизованого вимірювального контролю ізоляції обмоток електричної машини, який ґрунтується на використанні комбінованих сигналів для визначення технічних параметрів ізоляції вузлів електричної машини. А також розроблено конструкцію засобу вимірювального контролю, що реалізує запропонований метод.*

**Ключові слова:** опір ізоляції, електрична машина, вимірювання, дефект, активний опір, реактивний опір.

**Ф. 7. Рис. 2. Літ. 12.**

---

**1. Вступ**

На сьогоднішній день потужні електродвигуни застосовують у різних технологічних процесах як промислового виробництва, так і сільського господарства [1]. Своє поширення вони набули і у якості генеруючого обладнання, що є складовою частиною електричних станцій, як тих, що використовують традиційні джерела енергії (ТЕС, АЕС тощо), так і альтернативних (ГЕС, ВЕС тощо) [2], де одинична потужність окремої електричної машини, зазвичай, є вищою ніж у інших галузях застосування.

При експлуатації потужних електричних машин доволі часто застосовуються системи контролю значної кількості технологічних параметрів, які у реальному часі характеризують режими їх роботи. Такий підхід дозволяє підвищити надійність експлуатації обладнання та, з доволі високою імовірністю, уникнути масштабних техногенних загроз, що можуть бути викликані аварійним виходом з ладу силових електричних машин (у тому числі і потужних електрогенераторів), які доволі часто



супроводжується руйнуванням опорних конструкцій, конструктивних елементів виробничих приміщень та можуть нести загрозу для життя та здоров'я виробничого персоналу. Про те використання навіть найсучасніших систем контролю технічного стану не забезпечує стовідсоткової вірогідності, а при експлуатації електричних машин номінальною потужністю порядку одиниць МВт та нижче їх застосування може суттєво збільшувати загальну вартість обладнання при все ще достатньо високому рівні виникнення серйозної техногенної аварії [1]. Тож, не дивлячись на бурхливий розвиток систем контролю, що спостерігалися протягом останніх десятиліть, основним організаційним заходом забезпечення експлуатаційної надійності електричного обладнання залишається проведення планових технічних оглядів. Оскільки при проведенні таких заходів обладнання повністю виводиться з експлуатації, що супроводжується значними економічними втратами в наслідок простою [2], то розробка методів та засобів прямого автоматизованого контролю вузлів електричних машин, що дозволили б автоматизувати процес проведення технічного огляду, тим самим скоротивши витрати часу на його здійснення, є актуальною задачею, що має велике прикладне значення.

## 2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

До переліку технічних параметрів, що контролюються при проведенні планових технічних оглядів відносяться [3, 4]:

- механічні параметри (характеризують стан чи положення технологічної арматури та допоміжного устаткування, рівень механічного зношення вузлів та опорних конструкцій);
- електричні параметри (електротехнічний стан обмотки та ізоляції).

Описаний вище перелік контрольованих параметрів у загальному випадку забезпечує можливість зробити висновки про необхідність та обсяг планових ремонтних робіт. Про те, якщо механічні параметри при виведенні електричної машини з експлуатації виявити відносно легко навіть шляхом експертного огляду, то для виявлення дефектів обмоток та ізоляції доводиться виконувати ряд експериментальних досліджень. При чому, переважна більшість методик, що застосовуються для перевірки опору струмонесучих вузлів і, особливо, стану ізоляції, ґрунтується на використанні застарілих технологій, а отже є трудомісткими та потребують значної витрати часу [5, 6]. Окрім цього, ключовою особливістю найбільш поширених існуючих систем вимірювального контролю, що працюють у режимі реального часу, є відсутність можливості відслідковувати зміну таких електричних параметрів ізоляції, як: опір, ємність та тангенс кута діелектричних втрат [7-10], що підвищує важливість контролю зазначених параметрів під час планового технічного огляду. Тому, виходячи з сказаного, є очевидним, що розробка сучасних методів та засобів прямого вимірювального контролю стану ізоляції електричних машин, що передбачали б мінімально можливий демонтаж базових вузлів, є важливою науково-прикладною задачею, що потребує подальших досліджень.

## 3. Викладення основного матеріалу

Для вирішення поставленої задачі пропонується використати комбінований метод, що ґрунтується на почерговій подачі на обмотки сигналів постійної та змінної напруги, а також імпульсної напруги, що виникає в наслідок розряду ємності. Постійний струм, що виникає при прикладанні до обмотки постійної напруги, є обернено пропорційним до загального активного опору ізоляції у вказаному колі. Струм розряду попередньо зарядженого конденсатора є обернено пропорційним до перехідного опору в місці виникнення однофазних замикань на землю (корпус) [11]. Прикладання змінної напруги низької частоти з наступним вимірюванням модуля струму дає змогу отримати значення комплексного опору ізоляції в досліджуваному колі. Отримані дані, як аргументи системи рівнянь, дадуть змогу не тільки оцінити поточний стан ізоляції, а й локалізувати можливі місця дефектів [12].

Комбіноване використання зазначених підходів забезпечить охоплення ізоляції обмотки електричної машини. Ще однією важливою перевагою запропонованого методу є те, що для підключення системи діагностування не потрібно вносити зміни в конструкцію генератора чи іншого обладнання. Підключення можливо здійснити безпосередньо до штатних затискачів обмоток.

За відсутності пошкоджень ізоляції в колі між фазами має достатньо велике значення. У випадку зниження опору ізоляції однієї з фаз, або виникнення однофазного замикання на землю (корпус) для струму виникає додатковий шлях протікання через еквівалентний опір  $R_{\text{епос}}$ , що включає в себе еквівалентний опір ізоляції відносно землі (корпусу)  $R_{\text{в}}$  та перехідний опір в місці замикання на землю (корпус)  $R_{\text{п}}$ . Це призводить до збільшення постійного струму, оскільки у цьому випадку ємнісна складова опору, не впливатиме на величину струму. Тобто:



$$R_{e\text{noc}} = R_{iz} + R_n. \quad (1)$$

Відповідно струм при прикладанні постійної напруги може бути розрахований:

$$I_{\text{noc}} = \frac{U_{\text{noc}}}{R_{e\text{noc}}}, \quad (2)$$

де  $U_{\text{noc}}$  – величина постійної напруги, що прикладається до кола.

При прикладанні до цього ж кола змінного струму низької частоти для даного виду дефекту при відносно незначному зменшенні опору ізоляції значення струму суттєво не зросте, оскільки визначальним у колі буде саме реактивна складова опору. Тобто:

$$\underline{Z}_{e\text{нч}} = R_{e\text{noc}} + j(\omega_{\text{нч}} L_e - \frac{1}{\omega_{\text{нч}} C_e}), \quad (3)$$

де  $\omega_{\text{нч}}$  – циклічна частота змінної напруги низької частоти;  $L_e$  – еквівалентна індуктивність досліджуваного кола;  $C_e$  – еквівалентна ємність досліджуваного кола. Звідси:

$$I_{\text{нч}} = \frac{U_{\text{нч}}}{|\underline{Z}_{e\text{нч}}|}, \quad (4)$$

де  $U_{\text{нч}}$  – діюче значення змінної напруги низької частоти, що прикладається до кола.

Аналізуючи (3) та (4) не важко помітити, що залежно від типу кола (обмотка-обмотка, обмотка-земля тощо) та місця виникнення дефекту ізоляції співвідношення між еквівалентною індуктивністю та ємністю можуть бути різними, а модуль діючого значення опору при окремих дефектах може не виходити за межі діапазону допустимих значень. Тож, для отримання повної інформації про співвідношення індуктивної та ємнісної складової опору проводиться вимірювання діючого значення струму при прикладанні імпульсної напруги. У цьому випадку:

$$\omega_i \gg \omega_{\text{нч}}, \quad (5)$$

де  $\omega_{\text{нч}}$  – еквівалентна циклічна частота імпульсної напруги, що визначається параметрами R-C ланки кола.

Для даного типу напруги еквівалентний опір та еквівалентне діюче значення струму може бути визначене за формулами:

$$\underline{Z}_{ei} = R_{e\text{noc}} + j(\omega_i L_e - \frac{1}{\omega_i C_e}), \quad (6)$$

$$I_i = \frac{U_i}{|\underline{Z}_{ei}|}, \quad (7)$$

де  $U_{\text{нч}}$  – еквівалентне діюче значення імпульсної змінної напруги, що прикладається до кола.

Як впливає з аналізу (6) та (7), при нормальному стані ізоляції значення імпульсного струму буде мінімальним, оскільки при значному зростанні циклічної частоти індуктивний опір електричного кола матиме достатньо велике значення. Тоді як при наявності суттєвої ємнісної складової опору можливе різке зростання еквівалентного діючого значення струму.

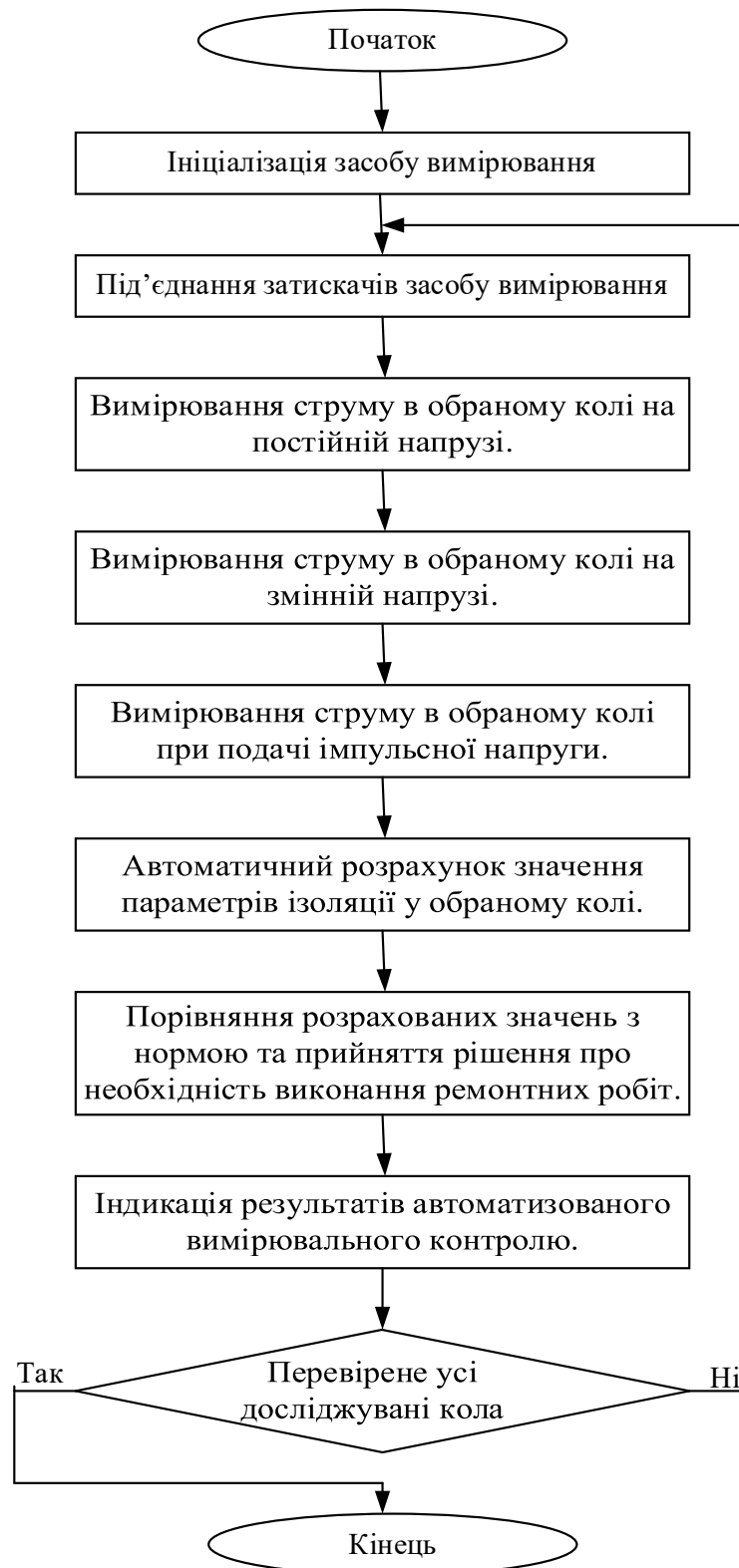
Комплексна рівнянь (1-4) та (6-7) при достатній чутливості засобів вимірювання дозволяє з високою точністю визначити технічні параметри ізоляції вузлів електричної машини, а, отже, забезпечує можливість виявлення повного спектру дефектів ізоляції, у тому числі і на ранніх етапах їх розвитку.

На основі наведеного вище можна сформулювати запропонований метод прямого автоматизованого вимірювального контролю ізоляції обмоток електричної машини наступним чином:

1. Ініціалізація засобу вимірювання.
2. Під'єднання затискачів засобу вимірювання до штатних затискачів електричної машини.
3. Вимірювання струму в обраному колі на постійній напрузі.
4. Вимірювання струму в обраному колі на змінній напрузі.
5. Вимірювання струму в обраному колі при подачі імпульсної напруги.
6. Автоматичний розрахунок значення параметрів ізоляції у обраному колі.
7. Порівняння розрахованих значень з нормою та прийняття рішення про необхідність виконання ремонтних робіт.
8. Індикація результатів автоматизованого вимірювального контролю.
9. Повторення пунктів 2-8 для наступного вузла електричної машини.

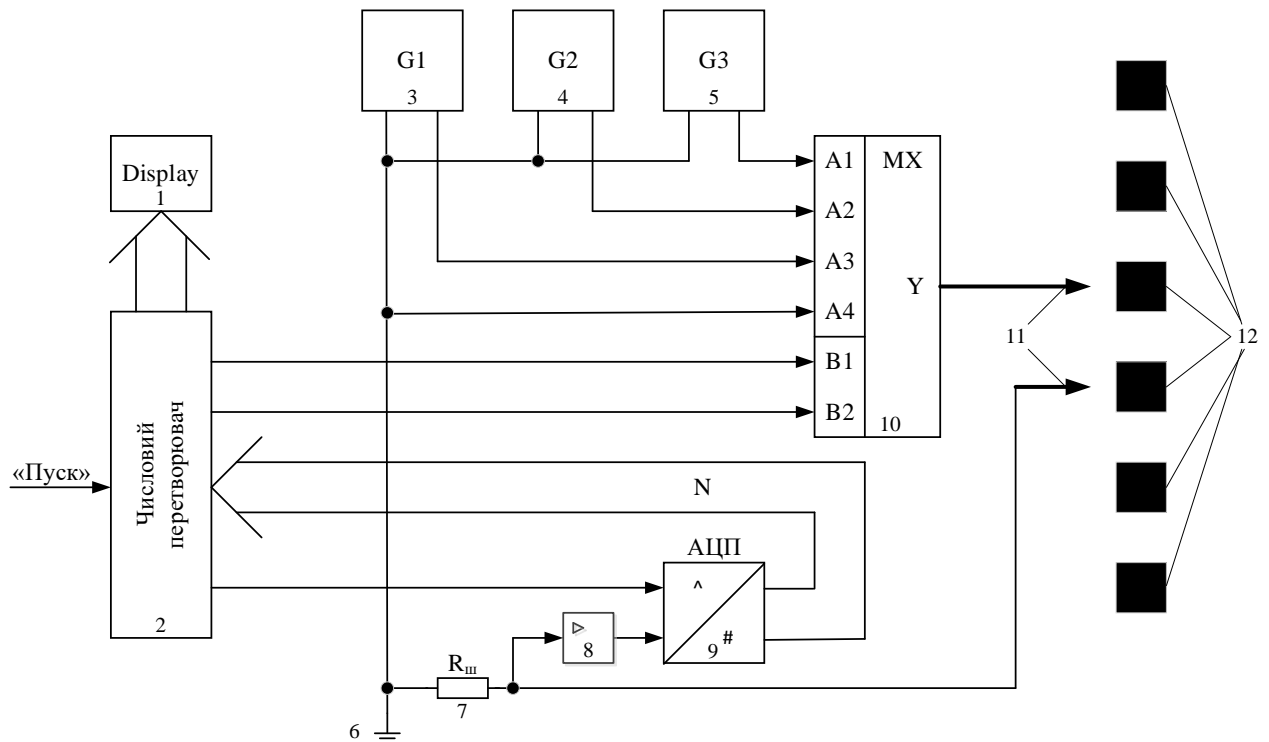


Блок схема запропонованого методу наведена представлена на рис. 1.



**Рис. 1. Блок схема методу прямого автоматизованого вимірювального контролю ізоляції обмоток електричної машини**

Для реалізації запропонованого методу було розроблено структурну схему засобу вимірювального контролю, що наведена на рис. 2.



**Рис. 2. Структурна схему засобу вимірювального контролю, що реалізує метод прямого автоматизованого вимірювального контролю ізоляції обмоток електричної машини:**  
**1 – дисплей; 2 – числовий перетворювач (мікроконтролер); 3-5 – генератори, відповідно, постійної змінної низькочастотної на імпульсній напруги; 6 – спільна точка (заземлення); 7 – шунт; 8 – нормуючий підсилювач; 9 – аналого-числовий перетворювач; 10 – мультимплексор; 11 – затискача засобу вимірювання; 12 – штатні затискачі електричної машини.**

Наведений на рис. 2 пристрій працює наступним чином. Затискача засобу вимірювання 11 приєднуються до штатних затискачів електричної машини 12 у відповідності з планом проведення поточного контролю. На виходах генераторів 3-5 генеруються, відповідно, постійна, змінна та імпульсна напруги, що поступають на перший, другий та третій аналогові входи мультимплексора 10. На четвертий аналоговий вхід мультимплексора 10 поступає рівень нуля (заземлення). По замовчуванню (до початку вимірювального перетворення) на адресний вхід мультимплексора 10 з другого та третього виходів числового перетворювача 2 подається числових код, що відповідає подачі на його вихід рівня заземлення.

Після надходження сигналу «Пуск» на перший вхід числового перетворювача 2 на його другому та третьому виходах по чергово встановлюються та утримуються протягом часу, необхідного для завершення вимірювального перетворення комбінації числового коду, що відповідають подачі на вихід мультимплексора 9 сигналів постійної, змінної на імпульсній напруги, що надходить від генераторів 3-5. По завершенні вимірювальних перетворень на вихід мультимплексора 10 знову встановлюється нульовий рівень напруги.

При протіканні струму від генератора до заземлення через відповідне електричне коло зазначений струм, протікаючи через шунт 7 створює на ньому різницю потенціалів, що поступає на вхід нормуючого підсилювача 8. У нормуючому підсилювачі 8 зазначена різниця потенціалів (напруга) підсилюється та поступає на другий вхід аналого-цифрового перетворювача 9. При подачі керуючого сигналу з четвертого виходу числового перетворювача 2 на перший вхід аналого-числового перетворювача 9 відбувається аналого-числове перетворення поданої на його вхід напруги з





отриманням відповідного, пропорційного їй, числового коду N. Отриманий числовий код по завершенні аналого-числового перетворення з виходу аналого-числового перетворювача 9 надходить на другий вхід числового перетворювача 2, де відбувається його зчитування. По завершенні зчитування цифрового коду N числовий перетворювач подає команду на зміну типу сигналу на виході мультиплексора 10.

По завершенні вимірювання діючих значень струму у кожному із режимів роботи засобу вимірювання у числовому перетворювачі 2 відбувається розрахунок значення параметрів ізоляції у обраному колі. Після виконання розрахунків значення цих параметрів та логічні висновки про наявність (відсутність) критичних відхилень технічних параметрів ізоляції виводяться на дисплей 1, вихід якого з'єднаний з першим виходом числового перетворювача 2.

#### 4. Висновок

1. Запропоновано новий метод прямого автоматизованого вимірювального контролю ізоляції обмоток електричної машини, який ґрунтується на використанні сигналів постійної, змінної напруги та імпульсної імпульсної напруги для визначення технічних параметрів ізоляції вузлів електричної машини, що дозволяє підвищити вірогідність виявлення їх відхилення від норми навіть на ранніх етапах розвитку дефекту. В свою чергу це дозволяє підвищити імовірність безвідмовної роботи електричної машини у період планової експлуатації.

2. Розроблено конструкцію засобу вимірювального контролю, що реалізує методу прямого автоматизованого вимірювального контролю ізоляції обмоток електричної машини, який забезпечує автоматизоване вимірювання та контроль технічного стану ізоляції вузлів електричної машини при мінімальному демонтажі її базових вузлів, що суттєво скорочує витрату часу на проведення планового технічного огляду.

#### Список використаних джерел

1. Матвійчук В. А., Рубаненко О. Є., Рубаненко О. О. Особливості електропостачання потужних підприємств АПК з використанням мікромереж та розподілених джерел електроенергії. *Збірник наукових праць ВНАУ: Серія технічні науки*. 2015. № 2 (90). С. 117–123.
2. Калетнік Г. М. Перспективи підвищення енергетичної автономії підприємств АПК в рамках виконання енергетичної стратегії України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2019. №4. С. 90–98.
3. Матвійчук В. А., Рубаненко О. О., Явдик В. В. Аналіз режимів роботи мікроелектромереж і методів керування ними. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2016. № 4 (96). С. 133–136.
4. Яцун М. А., Яцун А. М. Експлуатація та діагностування електричних машин і апаратів: Навчальний посібник. Львів: Львівська політехніка, 2010. 228 с.
5. Матвійчук В.А., Рубаненко О. Є., Рубаненко О. О. Визначення якості функціонування ділянки із зниженим опором ізоляції мережі оперативного постійного струму за допомогою нейронечіткого моделювання. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2015 №3. С. 187–195.
6. Матусевич О. О. Удосконалення методології систем технічного обслуговування і ремонту тягових підстанцій: Монографія. Дніпропетровськ: Дніпропетр. нац. ун-т. заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2015. 295 с.
7. Норми випробування електрообладнання. Стандарт організації України: СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007. – [Чинний від 06-04-2020]. К. : Міністерство енергетики та захисту довкілля України, 2020. 238 с.
8. Хуторецкий Г. М., Токов М. И., Толвинская Е. В., Проектирование турбогенераторов. Ленинград: Энергоатомиздат, 1987. 256 с.
9. Вольдек А. И. Электрические машины. Ленинград: Энергия, 1974. 840 с.
10. Голоднова О. С. Основные причины отказов турбогенераторов и пути их предупреждения. Москва: ИПК-госслужбы, 2005. 93 с.
11. Кутін В. М., Шпачук О. О. Удосконалення засобів захисту від однофазних замикань на землю в обмотці статора синхронного генератора. *Проблеми аварійності та діагностика в електромеханічних системах та електричних машинах*. 2013. №2/2013(22). С.393–396.
12. Граняк В. Ф., Кухарчук В. В. Термічний метод та засіб контролю стану міжжиткової ізоляції обмоток збудження гідроагрегатів. *Вісник інженерної академії України*. 2016. №2. С.110–115.

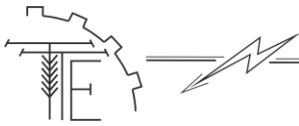


## References

- [1] Matviichuk, V. A., Rubanenko, O. Ie., & Rubanenko, O. O. (2015). Osoblyvosti elektropostachannia potuzhnykh pidpriemstv APK z vykorystanniam mikromerezh ta rozpodilenykh dzherel elektroenerhii [Features of power supply of powerful agro-industrial enterprises with the use of micro-networks and distributed power sources]. *Zbirnyk naukovykh prats VNAU: Seriya tekhnichni nauky – Collection of scientific works of VNAU: Series of technical sciences*, 2 (90), 117-123 [In Ukrainian].
- [2] Kaletnyk, G. M. (2019). Perspektyvy pidvyshchennia enerhetychnoi avtonomii pidpriemstv APK v ramkakh vykonannia enerhetychnoi stratehii Ukrainy [Prospects for increasing energy autonomy of the agriculture in accordance with the energy strategy of Ukraine]. *Visnik agrarnoi nauki Pričornomor'â – Ukrainian Black Sea region agrarian science*, 4, 90-98. doi: 10.31521/2313-092X/2019-4(104)-10 [In Ukrainian].
- [3] Matviichuk, V. A., Rubanenko, O. O. & Yavdyk, V. V. (2016). Analiz rezhymiv roboty mikroelektromerezh i metodiv keruvannia nymy [Analysis of modes of operation of microelectric networks and methods of their management]. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK – Engineering, energy, transport of agro-industrial complex*, 4 (96), 133-136 [In Ukrainian].
- [4] Yatsun, M. A. & Yatsun, A. M. (2010). *Ekspluatatsiia ta diahnostuvannia elektrychnykh mashyn i aparativ: Navchalnyi posibnyk [Exploitation and diagnostics of electrical machines and devices: Tutorial]*. Lviv: Lviv Polytechnic, 228 [In Ukrainian].
- [5] Matviichuk, V. A., Rubanenko, O. Ie., & Rubanenko, O. O. (2015). Vyznachennia yakosti funktsionuvannia dilianky iz znyzhenym oporom izoliatsii merezhi operatyvnoho postiinoho strumu za dopomohoiu neironechitkoho modeliuvannia [Determination of the quality of functioning of the site with reduced insulation resistance of the operational DC network using neurofuzzy modeling]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky – Bulletin of Khmelnytsky National University. Series: Technical Sciences*, 3, 187-195 [In Ukrainian].
- [6] Matushevich O. O. (2015). *Udoskonalennia metodolohii system tekhnichnoho obsluhovuvannia i remontu tiahovykh pidstantsii: Monohrafiia [Improving the methodology of maintenance and repair systems of traction substations: Monograph]*. Dnepropetrovsk: Dnipropetrovsk national un-ty of railway transport after acad. V. Lazaryan, 295 [In Ukrainian].
- [7] Normy vyprobuвання електрообладнання. Standart orhanizatsii Ukrainy [Standards for testing electrical equipment. Standard of organization of Ukraine]. (2020). *SOU-NEE 20.302: 2007 from 6th April 2020*. Kyiv: Ministry of Energy and Environmental Protection of Ukraine [In Ukrainian].
- [8] Khutoretsky, G. M., Tokov, M. I. & Tolvinskaya E. V. (1987) *Proektyrovanye turboheneratorov [Turbine generator design]*. Leningrad: Energoatomizdat, 256 [In Russian].
- [9] Voldek, A. I. (1974). *Elektrycheskiye mashyny [Electric machines]*. Leningrad: Energy, 840 [In Russian].
- [10] Golodnova, O. S. (2005). *Osnovnye prichiny otkazov turboheneratorov i puti ih preduprezhdeniya [The main causes of turbo generator failures and ways to prevent them]*. Moscow: IPK-civil services, 93 [In Russian].
- [11] Kutin, V. M. & Shpachuk, O. O. Udoskonalennia zasobiv zakhystu vid odnofaznykh zamykan na zemliu v obmottsi statora synkhronnoho heneratora [Improvement of protection devices against single-phase earth faults in the stator winding of a synchronous generator]. *Problemy avariinosti ta diahnostyka v elektromekhanichnykh systemakh ta elektrychnykh mashynakh – Accident problems and diagnostics in electromechanical systems and electric machines*, 2/2013(22), 72-80 [In Ukrainian].
- [12] Hraniak, V. F. & Kukharchuk, V. V. Termichniy metod ta zasib kontroliu stanu mizhvyytkovoi izoliatsii obmotok zbudzhennia hidroahrehativ [Thermal method and device of monitoring the state of interturn insulation of excitation windings of hydro units]. *Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy – Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine*, 2, 110-115 [In Ukrainian].

**МЕТОД И СРЕДСТВО НЕПОСРЕДСТВЕННОГО  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ИЗОЛЯЦИИ  
ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН**

*На сегодняшний день подавляющее большинство технологических процессов, как производства, так и сельского хозяйства, основанная на использовании электрических машин. Среди которых значительная часть производственного оборудования требует использования*



электрических двигателей, мощность которых превышает сотни киловатт. Свое распространение такие электрические машины получили и в качестве генерирующего оборудования, где являются составной частью электрических станций, как использующих традиционные источники энергии (ТЭС, АЭС и т.п.), так и альтернативных (ГЭС, ВЭС и т.п.), где единичная мощность отдельной электрической машины обычно выше чем в других областях применения.

При эксплуатации такого оборудования достаточно часто применяются системы контроля значительного количества технологических параметров, в реальном времени характеризует режимы их работы. Указанный подход позволяет повысить надежность эксплуатации и, с довольно высокой вероятностью, избежать масштабных техногенных угроз, которые могут быть вызваны аварийным выходом из строя силовых электрических машин (в том числе и мощных электрогенераторов), которые довольно часто сопровождается разрушением опорных конструкций, конструктивных элементов производственных помещений и могут нести угрозу для жизни и здоровья производственного персонала. Но использование даже самых современных систем контроля технического состояния не обеспечивает стопроцентной достоверности, а при эксплуатации электрических машин номинальной мощностью порядка единиц МВт и ниже их применение может существенно увеличивать общую стоимость оборудования при все еще достаточно высоком уровне возникновения серьезной техногенной аварии. Поэтому разработка прямых методов и средств измерения технических параметров электрических машин в целом, и параметров изоляции в частности, является актуальной научно-прикладной задачей.

В работе предложен новый метод прямого автоматизированного измерительного контроля изоляции обмоток электрической машины, основанный на использовании комбинированных сигналов для определения технических параметров изоляции узлов электрической машины. А также разработана конструкция средства измерительного контроля, реализует предложенный метод.

**Ключевые слова:** сопротивление изоляции, электрическая машина, измерения, дефект, активное сопротивление, реактивное сопротивление.

**Ф. 7. Рис. 2. Лит. 12.**

## METHOD AND DEVICE OF DIRECT AUTOMATED MEASURING CONTROL OF THE INSULATION OF THE WINDING OF ELECTRIC MACHINES

Today, the vast majority of technological processes, both production and agriculture, are based on the use of electric machines. Among which, a significant part of production equipment requires the use of electric motors, the power of which exceeds hundreds of kilowatts. Such electric machines have also become widespread as generating equipment, where they are an integral part of power plants, both using traditional energy sources (thermal power plants, nuclear power plants, etc.), and renewable (hydroelectric power plants, wind farms, etc.), where the unit power of a single electrical machine is usually higher than in other sectors of economy.

When operating such equipment, systems for monitoring a significant number of technological parameters are often used, and in real time it characterizes the modes of their operation. This approach makes it possible to increase the reliability of operation and, with a fairly high probability, to avoid large-scale man-made threats that can be caused by an emergency failure of power electric machines (including powerful electric generators), which are quite often accompanied by the destruction of supporting structures, structural elements of industrial premises and can pose a threat to the life and health of production personnel. But the use of even the most modern systems for monitoring the technical condition does not provide one hundred percent reliability, and when operating electrical machines with a nominal power of the order of units of MW and below, their use can significantly increase the total cost of equipment with a still quite high level of occurrence of a serious man-made accident. Therefore, the development of direct methods and means for measuring the technical parameters of electrical machines in general, and insulation parameters in particular, is an urgent scientific and applied problem.

In the article was proposed a new method of direct automated measuring control of insulation of windings of an electric machine, based on the use of combined signals to determine the technical parameters of the insulation of electrical machine units. And also, the design of the measuring control has been developed, it implements the proposed method.

**Key words:** insulation resistance, electrical machine, measurements, defect, active resistance, reactance.

**F. 7. Fig. 2. Ref. 12.**



**ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ**

**Граняк Валерій Федорович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, +380672799498, titanxp2000@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6604-6157>).

**Купчук Ігор Миколайович** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, +380978173992, kupchuk.igor@i.ua, <http://orcid.org/0000-0002-2973-6914>).

**Гонтар Володимир Григорович** – магістр за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, +380683260329, [bulbashka31@gmail.com](mailto:bulbashka31@gmail.com)).

**Граняк Валерій Федорович** – кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетики, электротехники и электромеханики Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, +380672799498, titanxp2000@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6604-6157>)

**Купчук Игорь Николаевич** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры общетехнических дисциплин и охраны труда Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, +380978173992, kupchuk.igor@i.ua, <http://orcid.org/0000-0002-2973-6914>).

**Гонтар Владимир Григорьевич** – магистр по специальности 133 «Отраслевое машиностроение» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, +380683260329, [bulbashka31@gmail.com](mailto:bulbashka31@gmail.com)).

**Hraniak Valerii** – Ph.D, Associate Professor of Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics of Vinnytsia National Agrarian University (3, Sonychna St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, +380672799498, titanxp2000@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6604-6157>).

**Kupchuk Ihor** – Ph.D, Senior Lecturer of the Department of General Technical Disciplines and Labor Protection of Vinnytsia National Agrarian University (3, Sonychna St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, +380978173992, kupchuk.igor@i.ua, <http://orcid.org/0000-0002-2973-6914>).

**Gontar Volodymyr** – master's degree in specialty 133 «Sectoral Mechanical Engineering» of Vinnytsia National Agrarian University (3, Sonychna St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, +380683260329, [bulbashka31@gmail.com](mailto:bulbashka31@gmail.com)).