

## ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ІЗОЛЯЦІЇ БЛОКА «ГЕНЕРАТОР–ТРАНСФОРМАТОР»

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет;

<sup>2</sup> ВП «Хмельницька атомна електростанція»

*В умовах значного старіння основних виробничих потужностей та продовження строків експлуатації електрообладнання електричних станцій України, гостро постає питання розробки та впровадження методів неперервного контролю технічного стану обладнання блоків «генератор–трансформатор». Сучасні інформаційно-вимірювальні системи та термінали релейного захисту, що експлуатуються на блоках «генератор–трансформатор» дають змогу реалізувати контроль електричних, теплотехнічних, механічних параметрів та параметрів, що характеризують стан чи положення технологічної арматури та допоміжного устаткування, а також забезпечують релейний захист електрообладнання від широкого спектра можливих пошкоджень. Але існуючі інформаційно-вимірювальні системи не дають змогу відслідковувати зміну таких електричних параметрів ізоляції обмотки статора: як опір, ємність та тангенс кута діелектричних втрат, а засоби релейного захисту можуть бути нечутливими до виникнення однофазних замикань на землю обмотки статора поблизу нейтралі та при симетричному зниженні параметрів ізоляції обмотки статора, не дають змогу виявити виникнення пошкодження на ранній стадії його розвитку і сигналізувати про це обслуговуючому персоналу. Також існує можливість хибних спрацювань при пусках блоків через несиметрію напруг у фазах машини, особливо гостро це проявляється в синхронних гідрогенераторах.*

*В роботі запропоновано метод контролю ізоляції обмотки статора синхронного генератора, що працює в блоці з трансформатором, структурна схема та основні співвідношення для обробки сигналів та розрахунку електричних параметрів ізоляції. Запропонований метод ґрунтується на накладанні на коло, що містить обмотку статора, сигналів змінної напруги частотою, нижчою за номінальну частоту мережі, напруги постійного струму, використання енергії попередньо зарядженого конденсатора та розрахунку параметрів ізоляції блока «генератор–трансформатор». Запропоновані рішення дозволять підвищити ефективність експлуатації енергоблоків завдяки забезпеченню оперативного та ремонтного персоналу достовірною інформацією про технічний стан ізоляції обладнання в схемі видачі потужності енергоблока.*

**Ключові слова:** синхронний генератор, блочний трансформатор, трансформатор власних потреб, струмопровід, ізоляція, інформаційно-вимірювальна система, діагностування.

### Вступ

На сьогодні на потужних синхронних машинах (турбо- та гідрогенераторах), що працюють в блоці з трансформатором, впроваджено інформаційно-вимірювальні системи, які забезпечують контроль значного переліку технологічних параметрів, що характеризують режим роботи машини. До переліку контрольованих параметрів зазвичай входять:

- електричні параметри (струми у фазах, лінійні чи фазні напруги на виводах машин, генерована потужність, контроль рівня часткових розрядів в ізоляції обмотки статора);
- теплотехнічні параметри (температура стержнів статорної обмотки та обмотки ротора, осердя статора, температура і витрати охолоджувача; температура підшипників, мастила та води в системі охолодження);
- механічні параметри (рівні вібрації статора та підшипників)
- параметри, що характеризують стан чи положення технологічної арматури та допоміжного устаткування.

Описаний вище перелік контрольованих параметрів, за достатньої чутливості сенсорів, дає змо-

гу контролювати появу і перебіг як робочих так і аномальних та аварійних режимів роботи синхронних генераторів, що працюють в блоці з трансформатором. Широке впровадження такого роду систем обмежують їх відносно висока вартість, а також значний обсяг робіт з реконструкції та модернізації силового обладнання, в якому за проектною документацією не передбачено встановлення сенсорів інформаційних систем. Але ще однією ключовою особливістю є те, що наявні інформаційно-вимірювальні системи не дають змогу відслідковувати зміну таких електричних параметрів ізоляції обмотки статора: як опір, ємність та тангенс кута діелектричних втрат [1]—[3].

Опосередковано технічний стан ізоляції блока «генератор–трансформатор» контролюється за допомогою засобів релейного захисту. Пристрої релейного захисту, які пропонуються на сьогоднішні провідними виробниками такого обладнання, забезпечують захист від усіх видів пошкоджень машин і ненормальних режимів їх роботи, високий рівень селективності, чутливості та, завдяки мікропроцесорній елементній базі, швидкодії. Також слід зазначити їх простоту в експлуатації та налаштуванні [4]—[7]. Проте, вони не позбавлені і кількох принципових недоліків, таких як: нечутливість до виникнення однофазних замикань на землю обмотки статора поблизу нейтралі, не дають змогу виявити виникнення пошкодження на ранній стадії його розвитку і сигналізувати про це обслуговуючому персоналу, нечутливість захистів при симетричному зниженні параметрів ізоляції обмотки статора, можливість хибних спрацювань при пусках блоків через несиметрію напруг у фазах машини, особливо гостро це проявляється в синхронних гідрогенераторах [8]—[11].

Таким чином наявна актуальна науково-практична задача з розробки та впровадження системи контролю електричних параметрів ізоляції в схемі видачі потужності енергоблока, розв'язання якої дозволить підвищити ефективність експлуатації енергоблоків завдяки забезпеченню оперативного та ремонтного персоналу достовірною інформацією про технічний стан обладнання.

*Об'єктом дослідження* в роботі є процеси зміни технічного стану ізоляції блока «генератор–трансформатор».

*Предмет дослідження* — методи і засоби контролю технічного стану ізоляції та релейного захисту електрообладнання блока «генератор–трансформатор» від електричних пошкоджень.

*Метою дослідження* є підвищення функціональних можливостей системи контролю технічного стану ізоляції шляхом виявлення зниження опору ізоляції на ранній стадії розвитку пошкодження, раптових пробоїв ізоляції, та забезпечення обслуговуючого персоналу енергоблока додатковою інформацією щодо технічного стану ізоляції.

### Результати дослідження

Для розв'язання поставленої задачі пропонується використати комбінований метод, що ґрунтується на накладанні на коло блока «генератор–трансформатор» сигналів змінної напруги частотою, нижчою номінальної частоти мережі, напруги постійного струму та використання енергії попередньо зарядженого конденсатора. Постійний струм, що накладається на коло блока «генератор–трансформатор» через нейтральну точку обмотки високої напруги трансформатора напруги, є обернено пропорційним до загального активного опору ізоляції у вказаному колі. Струм розряду попередньо зарядженого конденсатора, що може виникати внаслідок розвитку пробоїв в ізоляції блока «генератор–трансформатор», є обернено пропорційним до перехідного опору в місці виникнення однофазних замикань на землю. Накладання на коло блока «генератор–трансформатор» змінної напруги з частотою, що значно нижча за номінальну частоту мережі, дає змогу отримати значення комплексного опору ізоляції в колі блока «генератор–трансформатор». Отримані дані дадуть змогу не тільки оцінити поточний стан ізоляції, а й локалізувати можливі місця дефектів в колі «генератор–блочний трансформатор». Так, наприклад, зростання тангенсу кута діелектричних втрат в колі «генератор–блочний трансформатор», швидше за все, буде зумовлене накопиченням на поверхні обмотки низької напруги блочного трансформатора чи обмотках високої напруги трансформаторів власних потреб продуктів старіння трансформаторного масла. Водночас зниження активного опору ізоляції може свідчити про зволоження чи забруднення ізоляції статора та струмопроводу.

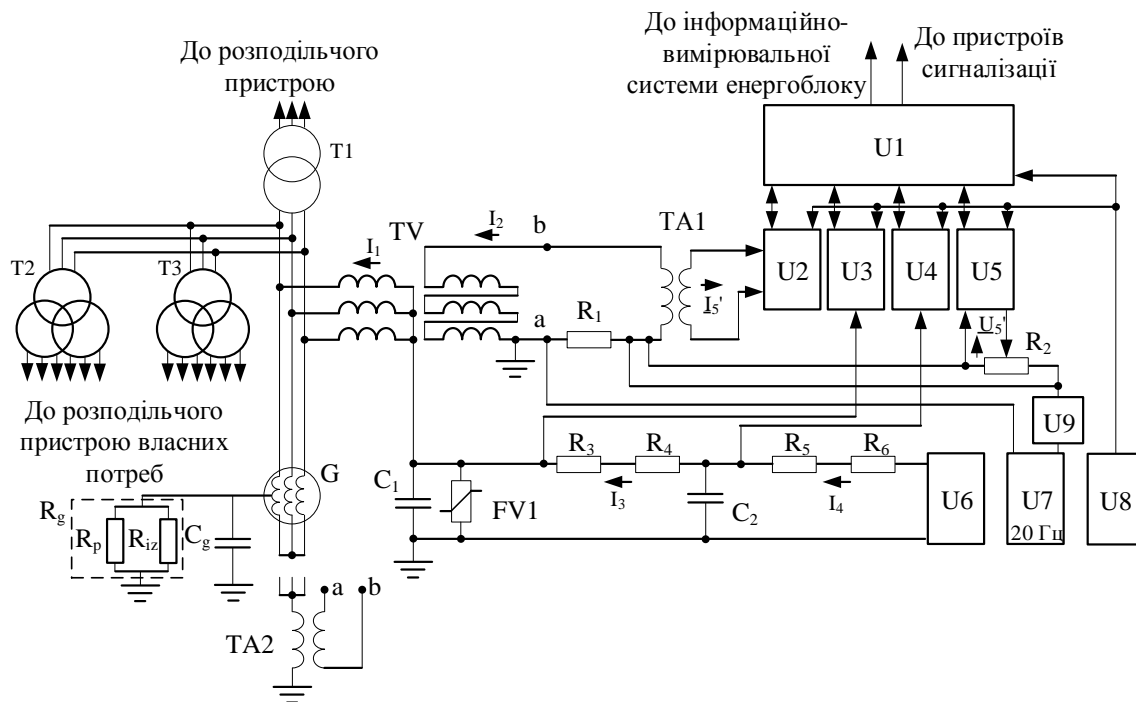
Метод накладання постійного струму з контролем струму розряду попередньо зарядженого конденсатора а також метод накладання на статорну обмотку змінної напруги з частотою, значно меншою номінальної частоти мережі, є відомими і широко використовуються у практиці релейного захисту обмоток статорів синхронних генераторів, що працюють в блоці з трансформатором [12]—[15].

Комбіноване використання зазначених методів забезпечить охоплення ізоляції обмотки статора синхронного генератора, струмопроводів, що з'єднують статор з блочним трансформатором

(зі сторони низької напруги) та трансформаторами власних потреб (зі сторони високої напруги), а також обмотки низької напруги блочного трансформатора та обмотки високої напруги трансформаторів власних блоків. Ще однією важливою перевагою для розробки та впровадження цієї системи діагностування є те, що для підключення системи діагностування не потрібно вносити зміни в конструкцію генератора чи іншого обладнання в колі «генератор–трансформатор». Підключення можливо здійснити з використанням наявного у колі «генератор–трансформатор» трансформатора напруги типу НТМИ чи ЗНОМ, що мають в своєму складі обмотку «розімкнений трикутник», або трансформатора напруги типу НТМИ та трансформатора струму, який влаштований в нейтральній точці генератора, для підключення джерела змінного струму з частотою, значно нижчою номінальної частоти мережі. Для синхронних генераторів, які мають схему з'єднання статорної обмотки «подвійна зірка» можна виконати підключення до обмотки трансформатора струму, що забезпечує реалізацію поперечного диференційного захисту генератора.

Для забезпечення мінімізації впливу джерел напруги накладання з частотою значно нижчою номінальної, необхідно передбачити встановлення фільтрів низької частоти на виводах вторинних обмоток вимірювальних трансформаторів, що використовуються для цілей релейного захисту обладнання та комерційного обліку електроенергії.

Структурна схема системи контролю ізоляції показана на рисунку.



Структурна схема системи контролю ізоляції

Запропонована система контролю ізоляції працює таким чином. Сигнал змінного струму з частотою, що значно відрізняється від частоти номінальної частоти мережі (наприклад, 20 Гц), від генератора U7 через смуговий фільтр U9 та резистор R<sub>1</sub> вводиться в схему накладання напруги на статор генератора G через трансформатор напруги TV. До блока обробки сигналу напруги частотою 20 Гц U5 через резистор R<sub>2</sub> від смугового фільтра U9 підводиться напруга U<sub>5</sub>', що пропорційна напрузі частотою 20 Гц, яка накладається. До блока обробки сигналу струму частотою 20 Гц U2 через трансформатор струму TA1 підводиться струм I<sub>5</sub>', пропорційний струму I<sub>2</sub>', в колі з джерелом накладеної напруги змінного струму частотою 20 Гц [12], [13]. Сигнал постійного струму формується блоком живлення U6 та через резистори R<sub>4</sub>, R<sub>6</sub> та вимірювальні шунти R<sub>3</sub>, R<sub>5</sub> підводиться до обмотки статора G через нейтральну точку обмотки високої напруги TV. Обробка сигналу здійснюється блоком U4. Сигнал струму розряду попередньо зарядженого конденсатора C<sub>2</sub> формується в результаті виникнення раптового замикання на землю (раптове зниження опоры R<sub>p</sub>) та надходить на обробку до блока U5 [14], [15]. Ємність C<sub>1</sub> та нелінійний обмежувач перенапруг FV1 встановлюються для забезпечення захисту від завад та можливих перенапруг, відповідно. Блок живлення U8 забезпечує живлення блоків: обробки сигналу напруги частотою 20 Гц U5, обробки

сигналу струму частотою 20 Гц  $U_2$ , обробки сигналу постійного струму, що накладається на старторну обмотку  $U_4$ , обробки сигналу струму розряду попередньо зарядженого конденсатора  $U_5$ , а також блока керування  $U_1$ , що здійснює керування системою контролю ізоляції та формує вихідні сигнали для оперативного персоналу енергоблока.

За відсутності пошкоджень ізоляції в колі блока «генератор–трансформатор» вхідний опір  $T_V$  зі сторони розімкненого трикутника має достатньо велике значення, і струм  $I_2$  є незначним. У випадку зниження опору ізоляції однієї з фаз, або виникнення однофазного замикання на землю для струму  $I_1$  виникає додатковий шлях протікання через еквівалентний опір  $R_g$ , що включає в себе еквівалентний опір ізоляції блока «генератор–трансформатор» відносно землі  $R_{iz}$  та перехідний опір в місці замикання на землю  $R_p$ . Це призводить до зниження напруги на резисторі  $R_2$  та зростання струмів  $I_1$  та  $I_2$ . Оскільки еквівалентний опір  $R_g$  та ємнісний опір ізоляції обмотки статора  $X_g$

$$\underline{X}_g = \frac{1}{j\omega C_g}, \quad (1)$$

де  $C_g$  — еквівалентна ємність ізоляції блока «генератор–трансформатор» відносно землі, а  $\omega$  — циклічна частота, є набагато більшими за решту опорів в колі накладання, то саме вони визначають комплексний опір, який вимірюється системою  $\underline{Z}$

$$\underline{Z} = \frac{U_5}{I_5}. \quad (2)$$

Постійний струм від джерела  $U_6$ , через резистори  $R_4$ ,  $R_6$  та вимірювальні шунти  $R_3$ ,  $R_5$ , нейтральну точку обмотки високої напруги трансформатора напруги типу НТМИ надходить в коло «генератор–трансформатор» і через ізоляцію обмотки статора перетікає до нульової точки. Таким чином, постійний струм  $I_4$ , що накладається на мережу, прямо пропорційний значенню прикладеної напруги та обернено пропорційний загальному активному опору кола накладання

$$I_4 = \frac{U}{R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_T + R_{iz}}, \quad (3)$$

де  $U$  — значення прикладеної постійної напруги;  $R_4$  та  $R_6$  — опори резисторів, що формують струм, який накладається на мережу;  $R_3$  та  $R_5$  — опори вимірювальних шунтів;  $R_T$  — загальний опір обмотки високої напруги трансформатора напруги типу НТМИ;  $R_{iz}$  — загальний опір ізоляції блока «генератор–трансформатор» відносно землі. Сигнал, що формується струмом  $I_4$ , обробляється блоком  $U_4$  за виразом

$$R_{iz}(I_4) = \frac{U}{I_4} - R_3 - R_4 - R_5 - R_6 - R_T. \quad (4)$$

У випадку виникнення раптового замикання на землю в перші моменти струм через  $R_5$ ,  $R_6$  змінюватися не буде, натомість на струм  $I_4$ , що протікає через резистор  $R_4$  буде накладатися струм розряду попередньо зарядженого конденсатора  $C_2$ . Максимальне значення підсумкового струму  $I_3$  через резистор  $R_4$  і шунт  $R_3$  обернено пропорційне перехідному опору в місці замикання на землю  $R_p$

$$R_p(I_3) = \frac{s + fI_3}{1 + gI_3 + hI_3^2}, \quad (5)$$

де  $I_3$  — сигнал струму розряду попередньо зарядженого конденсатора;  $s$ ,  $f$ ,  $g$ ,  $h$  — коефіцієнти, що обумовлюються параметрами резисторів, а також активним та індуктивним опорами первинної обмотки трансформатора напруги типу НТМИ.

Комплексний опір ізоляції блока «генератор–трансформатор»  $\underline{Z}$  можна представити паралельним з'єднанням опорів  $R_{iz}$ ,  $R_p$ ,  $X_g$

$$\underline{Z} = \frac{R_p R_{iz} X_g}{R_p R_{iz} + R_p X_g + R_{iz} X_g} \quad (6)$$

або

$$\underline{Z} = \frac{R_p R_{iz} \frac{1}{j\omega C_g}}{R_p R_{iz} + R_p \frac{1}{j\omega C_g} + R_{iz} \frac{1}{j\omega C_g}}. \quad (7)$$

Перетворимо вираз (7) та отримаємо з нього вираз для розрахунку еквівалентної ємності ізоляції блока «генератор–трансформатор» відносно землі  $C_g$

$$C_g = \frac{1}{j\omega} \left( \frac{1}{\underline{Z}} - \frac{1}{R_p} - \frac{1}{R_{iz}} \right) \quad (8)$$

або з урахуванням (2)

$$C_g = \frac{1}{j\omega} \left( \left( \frac{I_5}{U_5} \right) - \left( \frac{1}{R_p} \right) - \left( \frac{1}{R_{iz}} \right) \right). \quad (9)$$

Значення тангенсу кута діелектричних втрат ізоляції кола «генератор–трансформатор»  $\text{tg } \delta_g$  отримаємо як відношення активного до ємнісного опору ізоляції кола

$$\text{tg } \delta_g = \frac{R_p + R_{iz}}{X_g} \quad (10)$$

або з урахуванням (1) та (9)

$$\text{tg } \delta_g = \frac{\left( \frac{U_5}{I_5} \right) R_p R_{iz} (R_p + R_{iz})}{R_p R_{iz} - \left( \frac{U_5}{I_5} \right) R_{iz} - R_p \left( \frac{U_5}{I_5} \right)}. \quad (11)$$

### Висновки

Реалізація контролю електричних параметрів ізоляції в схемі видачі потужності енергоблока є актуальною науково-практичною задачею, вирішення якої дозволить підвищити ефективність експлуатації енергоблоків завдяки забезпеченню оперативного та ремонтного персоналу достовірною інформацією про технічний стан обладнання, прогнозуванню зміни технічного стану ізоляції і реалізації ремонту та обслуговування електрообладнання за технічним станом.

Запропоновані в роботі метод, структурна схема та основні співвідношення для обробки сигналів та розрахунку електричних параметрів ізоляції окреслюють загальні підходи до реалізації запропонованої системи контролю. Наступним важливим кроком в розробці системи контролю ізоляції є розробка алгоритмів роботи системи, обробки сигналів, вироблення критеріїв оцінювання отриманих даних та локалізації місць можливих дефектів ізоляції електрообладнання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Г. М. Хуторецкий, М. И. Токов, и Е. В. Толвинская, *Проектирование турбогенераторов*. Ленинград: Энергоатомиздат, 1987, 256 с.
- [2] А. И. Вольдек, *Электрические машины*. Ленинград: Энергия, 1974, 840 с.
- [3] О. С. Голоднова, *Основные причины отказов турбогенераторов и пути их предупреждения*. Москва, Россия: ИПК-госслужбы, 2005, 93 с.
- [4] А. М. Федосеев, и М. А. Федосеев, *Релейная защита электро-энергетических систем*. Москва, Россия: Энергоатомиздат, 1992, 528 с.
- [5] J. L. Blackburn, and Th. J. Domin, *Protective Relaying: Principles and Applications*. Boca Raton, Florida, USA, Taylor & Francis Group CRC Press, 2006, 638 p.
- [6] W. A. Elmore, *Protective Relaying Theory and Applications*. New York, USA, Marcel Dekker, 2004, 410 p.
- [7] A. M. Sleva, *Protective Relay Principles* Boca Raton, Florida, USA, Taylor & Francis Group CRC Press, 2009, 368 p.
- [8] M. Loos, *Single Phase to Ground Fault in Compensated Network*. Saarbrücken, Germany, Lambert Academic Publishing, 2014, 228 p.
- [9] D. Reimert, *Protective Relaying for Power Generation Systems*. Boca Raton, Florida, USA, Taylor & Francis Group CRC Press, 2005, 592 p.

- [10] A. G. Phadke, and J. S. Thorp, *Computer Relaying for Power Systems*. Hoboken, New Jersey, USA, Wiley Language, 2009, 344 p.
- [11] S. H. Horowitz, and A. G. Phadke, *Power System Relaying*. New York, USA, Research Studies Press Limited, 2008, 331 p.
- [12] Э. М. Шнейерсон, *Цифровая релейная защита*. Москва, Россия: Энергоатомиздат, 2007, 549 с.
- [13] Р. А. Вайнштейн, Р. Б. Тентиев, и С. М. Юдин, «Повышение надежности защиты генераторов от замыканий на землю, основанной на наложении вспомогательного тока с частотой 25 Гц», *Известия Томского политехнического университета*, № 4, с. 96-100, 2008.
- [14] В. М. Кутін, та О. О. Шпачук, *Захист від однофазних замикань на землю обмотки статора синхронного генератора, що працює в блоці з трансформатором*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2019, 183 с.
- [15] В. М. Кутін, та О. О. Шпачук, «Удосконалення засобів захисту від однофазних замикань на землю в обмотці статора синхронного генератора», *Проблеми аварійності та діагностика в електромеханічних системах та електричних машинах*, № 2/2013(22), ч. 2, с. 393-396.

Рекомендована кафедрою електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 8.01.2020

**Кутін Василь Михайлович** — д-р. техн. наук, професор, завідувач кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

**Шпачук Олександр Олександрович** — канд. техн. наук, інженер, e-mail: shpachuk2@gmail.com .

ДП «Національна атомна енергетична компанія «Енергоатом», відокремлений підрозділ «Хмельницька атомна електростанція», Нетішин

**V. M. Kutin<sup>1</sup>**  
**O. O. Shpachuk<sup>2</sup>**

## Improvement of Method of Control of Insulation of Generator–Transformer Unit

<sup>1</sup>Vinnitsia National Technical University;

<sup>2</sup>Khmelnyskyi Nuclear Power Plant

*In the conditions of significant aging of the main production capacities and prolongation of the service life of electrical equipment of power plants of Ukraine, the question of development and implementation of methods of continuous control of the technical condition of the generator–transformer unit equipment is urgent. Modern information-measuring systems and relay protection terminals, operated on generator–transformer units, enable control of electrical, thermal, mechanical parameters and parameters characterizing the status or position of technological fittings and auxiliary equipment, as well as providing relay protection of electrical equipment a wide range of possible damage.*

*However, the existing information-measurement systems do not allow the tracing of the following electrical parameters of the stator winding isolation such as resistance, capacitance and tangent of angle of the dielectric loss, and relay protection may be insensitive to the occurrence of single-phase ground fault near the neutral point of the stator winding and symmetric decrease of parameters of the stator winding insulation, and does not allow detecting the occurrence of damage at an early stage of its development and signal this to the service personnel. There is also the possibility of false actuations at unit start-ups due to the asymmetry of voltages in the machine phases, which is especially acute in synchronous hydrogenerators.*

*The paper proposes a method of controlling the isolation of a stator winding of a synchronous generator operating in a block with a transformer, a block diagram and basic formulas for signal processing and calculation of electrical insulation parameters. The proposed method is based on the overlay on the circuit containing the stator winding, alternating voltage signals with a frequency lower than the rated network frequency, DC voltage, the use of energy of the pre-charged capacitor and the calculation of the isolation parameters of the generator–transformer unit. The proposed solutions will allow increasing the efficiency of operation of power units by providing operational and repair personnel with reliable information on the technical condition of isolation of equipment in the scheme of power unit output.*

**Keywords:** synchronous generator, block transformer, self-contained transformer, power line, isolation, information-measuring system, diagnostics.

**Kutin Vasyl M.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Electromechanical Automation Systems in Industry and Transport;

**Shpachuk Oleksandr O.** — Cand. Sc. (Eng.), Engineer, e-mail: shpachuk2@gmail.com

**В. М. Кутин<sup>1</sup>**  
**А. А. Шпачук<sup>2</sup>**

## **Усовершенствование метода контроля изоляции блока «генератор–трансформатор»**

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет;

<sup>2</sup>ОП «Хмельницькая атомная электростанция»

*В условиях значительного старения основных производственных мощностей и продления сроков эксплуатации электрооборудования электрических станций Украины, остро стоит вопрос разработки и внедрения методов непрерывного контроля технического состояния оборудования блоков «генератор–трансформатор». Современные информационно-измерительные системы и терминалы релейной защиты, эксплуатирующиеся на блоках «генератор–трансформатор» позволяют реализовать контроль электрических, теплотехнических, механических параметров и параметров, характеризующих состояние или положение технологической арматуры и вспомогательного оборудования, а также обеспечивают релейную защиту электрооборудования от широкого спектра возможных повреждений.*

*Но существующие информационно-измерительные системы не позволяют отслеживать изменение таких электрических параметров изоляции обмотки статора: как сопротивление, емкость и тангенс угла диэлектрических потерь, а средства релейной защиты могут быть нечувствительными к возникновению однофазных замыканий на землю обмотки статора вблизи нейтрали и при симметричном снижении параметров изоляции обмотки статора, не дают возможность выявить возникновение повреждения на ранней стадии его развития и сигнализировать об этом обслуживающему персоналу. Также существует возможность ложных срабатываний при пусках блоков из-за несимметрии напряжений в фазах машины, особенно остро это проявляется в синхронных гидрогенераторах.*

*В работе предложен метод контроля изоляции обмотки статора синхронного генератора, работающего в блоке с трансформатором, структурная схема и основные соотношения для обработки сигналов и расчета электрических параметров изоляции. Предложенный метод основан на наложении на цепь, содержащую обмотку статора, сигналов переменного напряжения частотой ниже номинальной частоты сети, напряжения постоянного тока, использования энергии предварительно заряженного конденсатора и расчета параметров изоляции блока «генератор–трансформатор». Предложенные решения позволят повысить эффективность эксплуатации энергоблоков, благодаря обеспечению оперативного и ремонтного персонала достоверной информацией о техническом состоянии изоляции оборудования в схеме выдачи мощности энергоблока.*

**Ключевые слова:** синхронный генератор, блочный трансформатор, трансформатор собственных нужд, токопровод, изоляция, информационно-измерительная система, диагностирование.

**Кутин Василий Михайлович** — д-р. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой электромеханических систем автоматизации в промышленности и на транспорте;

**Шпачук Александр Александрович** — канд. техн. наук, инженер, e-mail: shpachuk2@gmail.com