

Покращення захисної характеристики обмотки статора синхронного генератора від однофазного замикання на землю

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Роботу присвячено розв'язку актуальної науково-прикладної задачі вдосконалення методу і засобів захисту від однофазних замикань на землю обмотки статора синхронного генератора, що працює в блоці з трансформатором, що проявляється в урахуванні значень параметрів, що впливають на значення струму в місці однофазного замикання на землю.

В роботі розглянуто основні фактори та процеси, що впливають на зміну технічного стану ізоляції обмотки статора синхронного генератора відносно землі в процесі його експлуатації. Запропоновано в якості показника якості функціонування ізоляції обмотки статора синхронного генератора використовувати діюче значення струму однофазного замикання на землю.

Запропоновано метод та пристрої захисту від однофазних замикань на землю обмотки статора синхронного генератора, що працює в блоці з трансформатором, робота яких ґрунтується на розрахунку струму в місці виникнення однофазного замикання на землю, за допомогою використання комбінованого принципу накладання постійного струму на коло, що містить ізоляцію обмотки статора для визначення активного опору ізоляції обмотки статора відносно землі, використання енергії розряду попередньо зарядженого конденсатора для визначення перехідного опору в місці замикання на землю, контролю напруги нульової послідовності та врахування ємності ізоляції обмотки статора відносно землі.

Ключові слова: синхронний генератор, релейний захист, однофазне замикання на землю.

Abstract

The work is devoted to solving the current scientific and applied problem of improving the method and means of protection against single-phase ground faults of the stator winding of a synchronous generator operating in a block with a transformer, which is manifested in taking into account the values of parameters that affect the current value at the location of a single-phase ground fault.

The work considers the main factors and processes that affect the change in the technical condition of the insulation of the stator winding of a synchronous generator relative to the ground during its operation. It is proposed to use the effective value of the single-phase ground fault current as an indicator of the quality of operation of the insulation of the stator winding of a synchronous generator.

A method and devices for protecting against single-phase ground faults of the stator winding of a synchronous generator operating in a unit with a transformer are proposed. Their operation is based on calculating the current at the point of occurrence of a single-phase ground fault, using the combined principle of applying a direct current to a circuit containing the stator winding insulation to determine the active insulation resistance of the stator winding relative to the ground, using the discharge energy of a pre-charged capacitor to determine the transition resistance at the point of the ground fault, controlling the zero-sequence voltage, and taking into account the capacitance of the stator winding insulation relative to the ground.

Keywords: synchronous generator, relay protection, single-phase ground fault.

Вступ

В статорі виникають міжфазні (двофазні і трифазні) короткі замикання, замикання однієї фази на корпус (на землю), замикання між витками обмотки однієї фази.

Найбільш поширеним видом пошкодження в синхронних генераторах є однофазні замикання на землю. Вони складають близько 60 ÷ 80 % від усіх видів пошкоджень. Однофазні замикання на землю становлять значну небезпеку для синхронних генераторів, оскільки в місці замикання зазвичай горить дуга, що спалює сталь магнітопроводу статора. Пошкодження сталі потребує довготривалого та складного ремонту. До того ж в процесі протікання однофазного замикання на землю створюються умови для подальшого розвитку пошкодження в міжфазні (дво- та трифазні) короткі замикання.

Існує цілий ряд захистів [1-4] від однофазних замикань на землю, але кожен з них має недоліки, що можуть призвести до хибних спрацювань захисту та інших негативних явищ. Основними недоліками захистів, що

експлуатуються в наш час є нечутливість при поступовому зниженні опору ізоляції, невиправдані спрацювання, оскільки захисти реагують на значення величин, що опосередковано характеризують струм для формули. Виходячи з вище викладеного матеріалу існує актуальна науково – практична задача з підвищення чутливості та швидкодії захисту від однофазних замикань на землю обмотки статора синхронного генератора.

Метою дослідження є зменшення кількості хибних спрацювань, підвищенні надійності спрацювання, чутливості і швидкодії захисту від однофазних замикань на землю шляхом використання комбінованого методу накладання сигналу постійного струму, використання енергії попередньо зарядженого конденсатора, контролю напруги нульової послідовності та періодичного вимірювання ємності ізоляції обмотки статора синхронного генератора.

Результати дослідження

Структурна схема пристрою [5, 6], який реалізовує запропонований в роботі комбінований метод накладання постійного струму на ізоляцію обмотки статора та використання енергії попередньо зарядженого конденсатора, контролю напруги нульової послідовності і періодичного вимірювання ємності ізоляції обмотки статора СГ представлено на рисунку 1

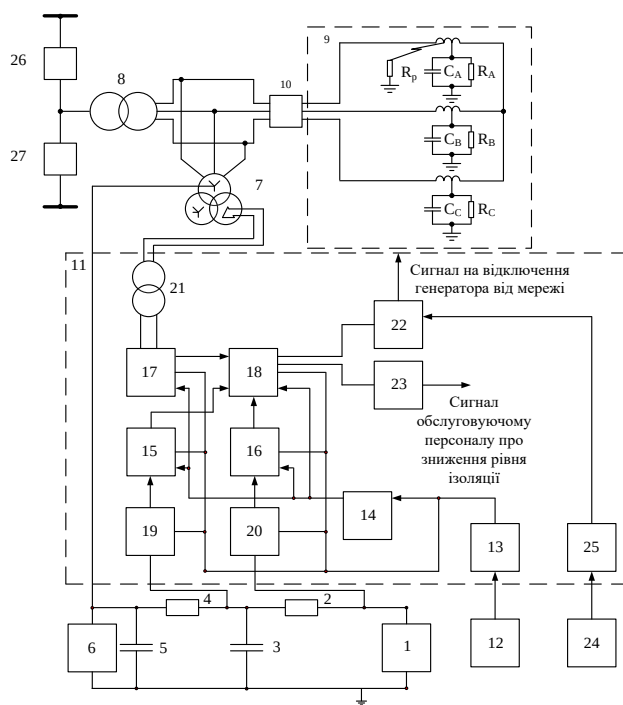


Рисунок 1. –Структурна схема реалізації методу захисту від однофазних замикань на землю обмотки статора синхронного генератора, що працює в блоці з трансформатором

Запропонований пристрій містить джерело випрямленої напруги 1, яке через резистор 2 підключене паралельно конденсатору 3, а через резистор 4 - до ємнісного фільтра 5, який під'єднаний паралельно до розрядника 6, підключеного між нульовою точкою зірки первинної обмотки трансформатора напруги 7 і землею. Трансформатор напруги 7 підключений до мережі між силовим трансформатором 8 і обмоткою статора 9 синхронного генератора через вимикач 10 реагуючого органу 11, перший вхід якого підключено паралельно резистору 4, другий – до вторинної обмотки трансформатора напруги 7, включеної в «розімкнутий трикутник», третій – паралельно резистору 2. Реагуючий орган 11 містить блок живлення 12, вихід якого через стабілізатор напруги 13 підключений до перших входів генератора тактових імпульсів 14, аналогово-цифрових перетворювачів (АЦП) 15, 16, 17, мікроконтролера (МК) 18, підсилювачів сигналу 19 та 20. Вихід генератора тактових імпульсів 14 сполучено з другими входами АЦП 15, 16, 17 та МК 18. Підсилювачі сигналу 19, 20 другими входами підключені паралельно резисторам 2 і 4 відповідно. Вихід підсилювача сигналу 19 під'єднаний до третього входу АЦП 15, а вихід підсилювача сигналу 20 - до третього входу АЦП 16, вихід АЦП 15 підключено до третього входу МК 18, а вихід АЦП 16 - до четвертого входу МК 18. Третій вхід АЦП 17 підключено через трансформатор 21 до виходу обмотки, включеної за схемою «розімкнений трикутник» трансформатора напруги 7, а вихід АЦП 17 підключений до п'ятого входу МК 18, перший вихід якого підключений до першого входу електронного ключа 22, а другий вихід – до входу сигнального пристрою 23. Причому до другого входу електронного ключа 22 підключений вихід стабілізатора напруги 24, вхід якого

з'єднаний з виходом джерела живлення 25. Вихід електронного ключа 22 з'єднаний з колами керування високовольтними вимикачами 26 і 27, через які блочний трансформатор 8 і генератор сполучені з мережею.

При відсутності пошкодження ізоляції сигнал від джерела випрямленої напруги 1 (рисунк 1.) накладається на коло, утворене резисторами 2 та 4, опором первинної обмотки трансформатора напруги 7 і ізоляцією фаз обмотки статора 9 синхронного генератора відносно землі. Величина струму, що протікає через резистори 2 та 4, буде однаковою і може бути визначена за формулою

$$i_2 = i_4 = \frac{U}{R_2 + R_4 + R_T + R_\Sigma} , \quad (1)$$

де U – напруга живлення; R_2 – опір резистора 2; R_4 – опір резистора 4; R_T – опір первинної обмотки трансформатора напруги 7; R_Σ – загальний опір ізоляції обмотки статора відносно землі.

Напруга U_C на конденсаторі 3 (рисунк 1. буде залежати від активного опору ізоляції обмотки статора відносно землі і визначатиметься за виразом

$$U_C = U - \frac{UR_2}{R_2 + R_4 + R_T + R_\Sigma} , \quad (2)$$

МК 18 починає процедуру первинних вимірювань і подає команду на АЦП 15-17 для початку перетворення сигналів контрольованих параметрів. Після зчитування інформації з АЦП 15-17 відбувається перетворення цифрових сигналів у значення контрольованих параметрів згідно співвідношень (11, 12, 13), що представлені нижче. Після завершення перетворень процедура первинних вимірювань завершується і починається основний цикл програми. На АЦП знову подається сигнал для початку перетворення і алгоритм дій при вимірюваннях повторюється. При виникненні замикання в обмотці статора через перехідний опір R_p напруга на конденсаторі 3 залишиться незмінною, а на струм, що тече через резистор 4, додатково накладеється струм розряду конденсатора 3, максимальне значення якого буде зворотнопропорційне значенню перехідного опору в місці замикання на землю. Сигнали струмів, що протікають через резистори 2 (струм пропорційний загальному опору ізоляції обмотки статора відносно землі R_Σ) та 4 (струм обернено пропорційний перехідному опору в місці замикання на землю R_p), надходять на підсилювачі сигналу 20 та 19, а після підсилення - на входи АЦП 16 та 15 відповідно, і перетворюються в цифрову форму. Сигнал напруги нульової послідовності надходить через трансформатор 21 до АЦП 17 і перетворюється в цифрову форму. Сигнали про загальний опір ізоляції обмотки статора відносно землі R_Σ , перехідний опір в місці замикання на землю R_p та напругу нульової послідовності U_0 в цифровій формі надходять до МК 18 для подальшої обробки згідно співвідношень :

$$U_0 = U_S k_T , \quad (3)$$

де U_0 – напруга нульової послідовності; U_S – сигнал напруги нульової послідовності, що надходить від АЦП 17 до АЦП 18; k_T – результуючий коефіцієнт трансформації, що враховує коефіцієнт трансформації трансформатора напруги та проміжного трансформатора 21.

$$R_\Sigma (I_1) = \frac{U}{I_1} - R_2 - R_4 - R_T , \quad (4)$$

де I_1 – сигнал постійного струму, що надходить від підсилювача 20 до АЦП 16 та до МК 18,

$$R_p (I_2) = \frac{s + fI_2}{1 + gI_2 + hI_2^2} \quad (5)$$

де I_2 – сигнал постійного струму, що надходить від підсилювача 19 до АЦП 15 та до мікроконтролера 18; s, f, g, h – коефіцієнти, що обумовлюються параметрами обмежуючих резисторів а також активним та індуктивним опором первинної обмотки трансформатора напруги типу НТМИ.

Після отримання значень R_Σ, R_p та U_0 відбувається виконання логічної частини роботи захисту. У випадку зниження рівня опору ізоляції нижче встановленого рівня відбувається подача сигналу обслуговуючому персоналу від МК 18 через сигнального пристрою 23. В іншому випадку відбувається визначення наявності аварійного режиму (наявність кидка струму на резисторі 4 в порівнянні з даними первинних вимірювань і зростання напруги нульової послідовності в порівнянні з даними первинних вимірювань) та розрахунок значення струму однофазного замикання на землю обмотки статора за співвідношенням (1).

У випадку, якщо розраховане значення струму однофазного замикання на землю обмотки статора 9 перевищує уставку спрацювання, відбувається подача сигналу з МК 18 на електронний ключ 22 для відключення генератора від мережі за допомогою високовольтних вимикачів 26 та 27. В іншому випадку, тобто тоді коли аварійний режим роботи генератора не виявлено, МК 18 подає команду АЦП 15-17 для початку перетворення нової вибірки сигналів.

Висновок

Для захисту обмотки статора СГ, що працює в блоці з трансформатором, від ОЗЗ було запропоновано комбінований метод накладання постійного струму на ізоляцію обмотки статора та використання енергії попередньо зарядженого конденсатора, контролю напруги нульової послідовності і періодичного вимірювання

емності ізоляції обмотки статора СГ. Використання вище зазначеного методу дозволить відстежувати поступову зміну активного опору ізоляції обмотки статора та визначати значення перехідного опору в місці замикання на землю (до 100 кОм, в залежності від технічної досконалості пристрою) для розрахунку діючого значення вимушеної складової струму ОЗЗ, та формування захистом відповідних сигналів керування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Пат. 53528 Україна, H02H03/36. Спосіб захисту від однофазних замикань на землю в електромережі з ізолюваною нейтраллю [Текст] / Журахівський А. В., Кенс Ю. А., Мединський Р. В., Равлик О. М., Горбатський А. А., Засідкович Н. Р.; заявники Національний університет «Львівська політехніка» - 2002075692; Заявл. 10.07.2002; Опубл. Бюл. №1, 15.01.2003.
2. Пат. 77309 Україна, МПК H02H 3/17. Пристрій для захисту від однофазних замикань на землю у трифазній електричній мережі з ізолюваною нейтраллю [Текст] / Кошман В.І., Кузнецов В. Г., Сабарно Л. Р., Севастюк І. М., Трач І. В.; заявники Інститут електродинаміки НАН України - 200412100626; Заявл. 23.12.2004; Опубл. Бюл. №11, 15.11. 2006.
3. Пат. 78119 Україна, МПК H02H 3/17. Спосіб захисту від однофазних замикань на землю в трифазній мережі змінного струму і пристрій для його реалізації [Текст] / Кошман В. І., Кузнецов В. Г., Сабарно Л. Р., Севастюк І. М., Трач І. В.; заявники Інститут електродинаміки НАН України - а200503923; Заявл. 25.04.2005; Опубл. Бюл. №2, 15.02.2007.
4. Кутін, В.М. Контроль провідності ізоляції фази відносно землі в трифазних системах з ізолюваною нейтраллю [Текст] / В.М. Кутін, С. В. Матвієнко. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.— Хмельницький, 2002.— №2.— С.60-65. — ISSN 2219-9365.
5. Кутін, В. М. Дослідження технічного стану ізоляції обмотки статора синхронного генератора в процесі його експлуатації електрообладнання [Текст]/ В. М. Кутін, О. О. Шпачук // Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія "Електротехніка і енергетика".-2013. -№2(15).-С.151–155. — ISSN 2074-2630.
6. Кутін В.М. Удосконалення засобів захисту від однофазних замикань на землю в обмотці статора синхронного генератора електрообладнання [Текст]/ В. М. Кутін, О. О. Шпачук // Електромеханічні і енергозберігаючі системи.-2013. - №2(22). Частина 2.—С.393–396. — ISSN 2072-2052.

Кутін Василь Михайлович — д-р техн. наук, професор, кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, vmkytin@gmail.com.

Шпачук Олександр Олександрович — к.т.н., інженер, ХАЕС e- mail: shpachuk @ gmail com..

Кутіна Марина Василівна — канд. технічн. наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, e-mail: mkytina@gmail.com.

Vasyl Mykhailovych Kutin — Dr. Tech. of Sciences, professor, department of computerized electromechanical systems and complexes, Vinnytsia National Technical University, vmkytin@gmail.com.

Oleksandr Shpachuk Oleksandrovich - Candidate of Technical Sciences. Engineer, XAEC e- mail: shpachuk@gmail com.

Kutina Marina Vasylivna – Candidate of Science, senior lecturer in Department of electrical power consumption and power management, e-mail: mkytina@gmail.com.