

УДК 621.316.925

В. М. Кутін, д-р. техн. наук, проф.; О. О. Шпачук, студ.

ВДОСКОНАЛЕННЯ ЗАХИСТУ ВІД ОДНОФАЗНИХ ЗАМИКАНЬ НА ЗЕМЛЮ ОБМОТКИ СТАТОРА СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Запропоновано метод реалізації функціональної характеристики захисту обмотки статора синхронного генератора від однофазних замикань на землю, який ґрунтується на обчисленні струму через місце витікання на основі вимірювання активного опору ізоляції обмотки статора відносно землі і опору в місці замикання в перший момент його виникнення, а також параметрів обмотки статора синхронного генератора, які вважаються постійними.

Вступ

Однофазні замикання на землю (ОЗЗ) обмотки статора синхронного генератора (СГ) становлять близько 70 % від усіх пошкоджень, що трапляються на синхронних генераторах. Цей вид замикання супроводжується протіканням в місці замикання незначного струму. Комплексне значення струму при ОЗЗ в залежності від кількості витків, що замкнулися α , визначається таким чином:

$$I_{3\alpha}^{(I)} = \frac{\alpha E_{\phi}}{Z_0 + r_n}, \quad (1)$$

де α — кількість витків, що замкнулися; E_{ϕ} — комплексна фазна е. р. с. генератора; Z_0 — комплексний опір обмотки статора; r_n — перехідний опір в місці замикання.

Припустимо, що $r_n = 0$ і знехтуємо активним опором ізоляції обмотки відносно землі, тоді вираз (1) матиме вигляд

$$I_{3\alpha}^{(I)} = 3\alpha \omega C E_{\phi}, \quad (2)$$

де C — ємність обмотки статора генератора відносно землі.

Ємнісний характер цього струму спричиняє горіння дуги в місці замикання, що може призвести до значних пошкоджень в статорі генератора. При струмі замикання на землю $I_{3\alpha}^{(I)} \geq 5$ А захист налаштовують на відключення генератора. Для генераторів потужністю 300 МВт і вище захист спрацьовує на відключення при $I_{3\alpha}^{(I)} \geq 2$ А.

В залежності від того працює генератор на систему збірних шин чи в блоці з трансформатором, будуть відрізнятися і способи реалізації захисту від ОЗЗ. Для генераторів, що працюють в блоці з трансформатором захист можна виконати досконалішим. Тому в цій статті розглядатимуться саме захисти від ОЗЗ обмотки статора СГ, що працює в блоці з трансформатором.

Існує низка захистів від ОЗЗ, але кожна з них має недоліки, що можуть призвести до хибних спрацювань захисту та інших негативних явищ. Наприклад: захист від ОЗЗ в обмотці статора турбогенератора, що здійснюється з використанням напруги третьої гармоніки [1] є нечутливим при поступовому зниженні опору ізоляції. У захисті від ОЗЗ в обмотці статора, що виконується з накладанням на коло статора постійного струму, існує гальванічний зв'язок кінця захисту з первинними колами генератора. Як наслідок, у разі обриву кола накладеного струму зі сторони його заземлення на пристрої захисту може виникати велике значення напруги, що може бути небезпечним для обслуговувального персоналу [1].

Захист від ОЗЗ ВПИ-1, запропонований колективом авторів Вінницького політехнічного інституту (у теперішній час — Вінницький національний технічний університет) [2], що ґрунтується на комбінованому принципі накладання постійного струму та використання енергії зарядженого конденсатора дає змогу відслідковувати як поступове так і стрибкоподібне зменшення опору ізоляції статора і не має зони нечутливості. Але такий захист контролює перехідний опір замикання на землю. Технічно досконалішим був би захист, який контролює зна-

чення струму замикання на землю. Такий захист можна створити, дещо вдосконаливши захист ВПІ-1.

Метою дослідження є підвищення чутливості і надійності захисту від ОЗЗ обмотки статора синхронного генератора шляхом визначення значення струму в місці замикання на землю.

Матеріали та результати дослідження

Вдосконалений захист контролюватиме три параметри: активний опір ізоляції обмотки статора, ємність обмотки статора відносно землі та перехідний опір в місці замикання на землю. Оскільки ємність обмотки статора відносно землі практично не змінюється впродовж експлуатації, то, фактично, постійно контролюватимуться два параметри: активний опір ізоляції обмотки статора та перехідний опір в місці замикання. Ємність вимірюватиметься при введенні захисту в експлуатацію на конкретному синхронному генераторі. Реалізувавши в програмному забезпеченні захисту відповідні математичні операції, маємо змогу отримати значення струму в місці замикання на землю. Отже, буде здійснюватися непряме вимірювання струму однофазного замикання на землю обмотки статора. Функціональна схема запропонованого пристрою зображена на рис. 1.

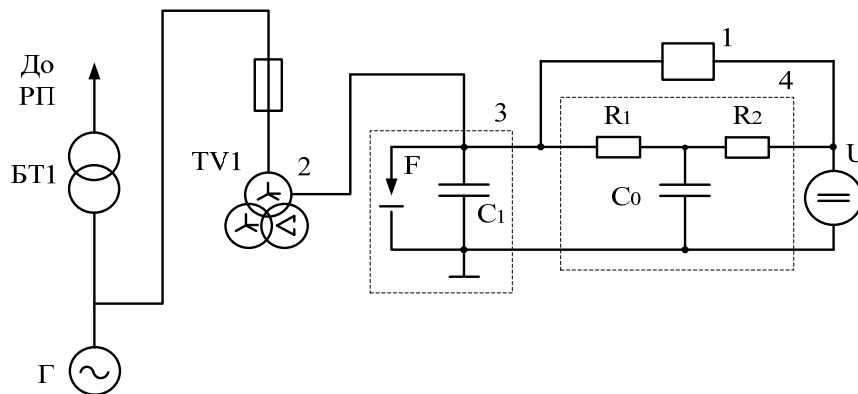


Рис. 1. Функціональна схема пристрою накладання постійного струму і використання енергії попередньо зарядженого конденсатора: 1 – блок контролю ізоляції обмотки статора; 2 – трансформатор напруги; 3 – ємнісний фільтр; 4 – двополосник; U – джерело постійного струму; Γ – синхронний генератор; БТ – блочний трансформатор; РП – відкритий розподільчий пристрій; C_1 – ємність фільтра приєднання; C_0 – ємність попередньо зарядженого конденсатора; F – розрядник

Для визначення струму через шунтувальний зв'язок скористаємося операторним методом [3]. На рис. 2 показана розрахункова схема для визначення струму через шунтувальний зв'язок та струму через активний опір ізоляції статора.

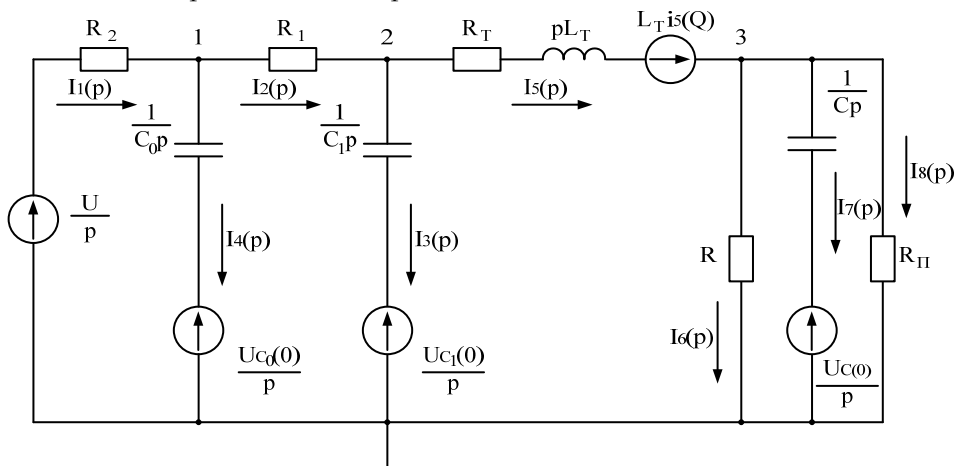


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення постійної складової струму через шунтувальний зв'язок та струму через активний опір ізоляції статора

Для визначення струму стікання на землю можна скористатися залежностями, які були отримані в роботі [3, 4]. Для визначення постійної складової струму, що протікає через акти-

вний опір ізоляції обмотки статора, використаємо співвідношення

$$I_1(p) = \frac{U(Ap^5 + Bp^4 + Mp^3 + Dp^2 + Kp + N) - R_1(A_1p^5 + B_1p^4 + M_1p^3 + D_1p^2 + K_1p + N_1)}{pR_2(Ap^5 + Bp^4 + Mp^3 + Dp^2 + Kp + N)}. \quad (3)$$

Постійна складова струму, що протікає через перехідний опір в місці замикання:

$$I_8(p) = \frac{R}{p} \left(\frac{A_3p^5 + B_3p^4 + M_3p^3 + D_3p^2 + K_3p + N_3}{Ap^5 + Bp^4 + Mp^3 + Dp^2 + Kp + N} \right), \quad (4)$$

де $A, B, D, K, N, M, A_3, B_3, D_3, K_3, N_3, M_3$ – коефіцієнти які характеризують параметри розрахункової схеми.

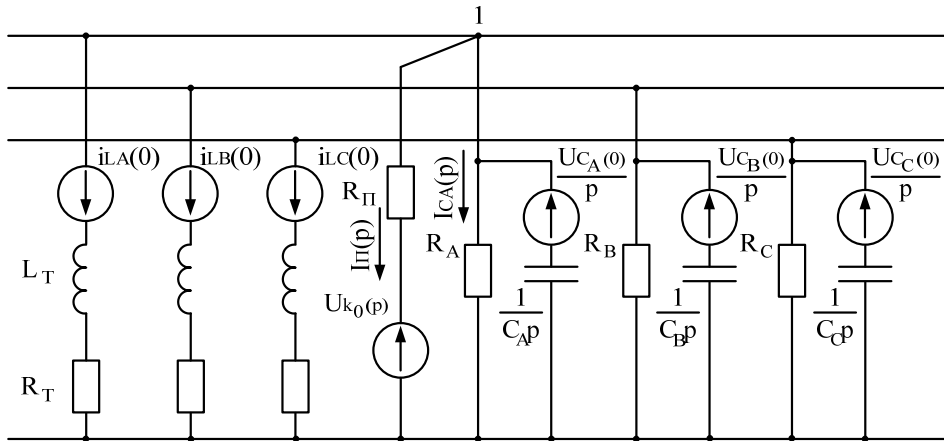


Рис. 3. Розрахункова схема для визначення змінної складової струму через шунтувальний зв'язок та струму через активний опір ізоляції статора

Для того, щоб визначити змінну складову струму стікання на землю використаємо таке співвідношення:

$$I_{\Pi}(p) = - \frac{E_A \omega (\omega^2 R_A L_T - R_A R_T) \cdot [p^2 C_A R_A L_T + p(L_T + C_A R_A R_T) + R_A + R_T]}{(p^2 + \omega^2) \left[p^2 C_A R_{\Pi} R_A L_T + p \left(\frac{R_A L_T}{3} + R_{\Pi} L_T + R_A R_{\Pi} R_T C_A \right) + R_{\Pi} R_A + R_{\Pi} R_T + \frac{R_A R_T}{3} \right]} \times \frac{1}{\left((9\omega^2 C_A R_{\Pi} R_A L_T - 9R_{\Pi} R_A - 9R_{\Pi} R_T - R_A R_T) p + 9R_{\Pi} \omega^2 C_A R_A R_T + 9\omega^2 L_T R_{\Pi} + \omega^2 L_T R_A \right)}, \quad (5)$$

де R_{Π} – перехідний опір в місці замикання на землю; R – еквівалентний опір ізоляції обмотки статора; R_T – еквівалентний активний опір обмотки вимірювального трансформатора; L_T – еквівалентна індуктивність обмотки вимірювального трансформатора; U – напруга живлення джерела контрольного струму; C_A – ємність ізоляції обмотки статора синхронного генератора; E_A – електрорушійна сила генератора.

Для визначення струму, що протікає через активний опір ізоляції статора можна скористатися наступними співвідношеннями. Струм через опір ізоляції обмотки статора:

$$I(p) = \frac{3 \cdot \phi_1(p)}{R_T + L_T} \left(\frac{R_2 C_0 p + 1}{R_1 R_2 C_0 C_1 p^2 + (C_1 R_1 + C_1 R_2 + C_0 R_2) p + 1} \right), \quad (6)$$

де (p) – зображення потенціалу вузла 1 (рис. 3).

Для отримання залежностей складових струмів, що протікають в місці замикання на землю та через активний опір ізоляції статора, знайдено оригінали наведених вище виразів.

Вищезазначені співвідношення характеризують опори ізоляції обмотки статора СГ а також перехідний опір в місці замикання на землю. Значення ємності ізоляції обмотки статора СГ практично не змінюється підчас експлуатації, тому вплив цієї складової на значення стру-

му стікання на землю вважатимемо незмінним і вплив даної складової визначатиметься при введенні захисту в роботу.

Захист має діяти як на відключення так і на сигнал в залежності від струму ОЗЗ і мати можливість регулювання уставки спрацювання.

Отримана математична залежність реалізована на мікропроцесорній елементній базі. Це дозволить підвищити швидкодію та чутливість захисту.

На рис. 4 показані криві перехідного процесу в датчиках пристрою захисту в залежності від параметрів досліджуваного кола. Криві I зображають перехідний процес постійного, а II — змінного струму.

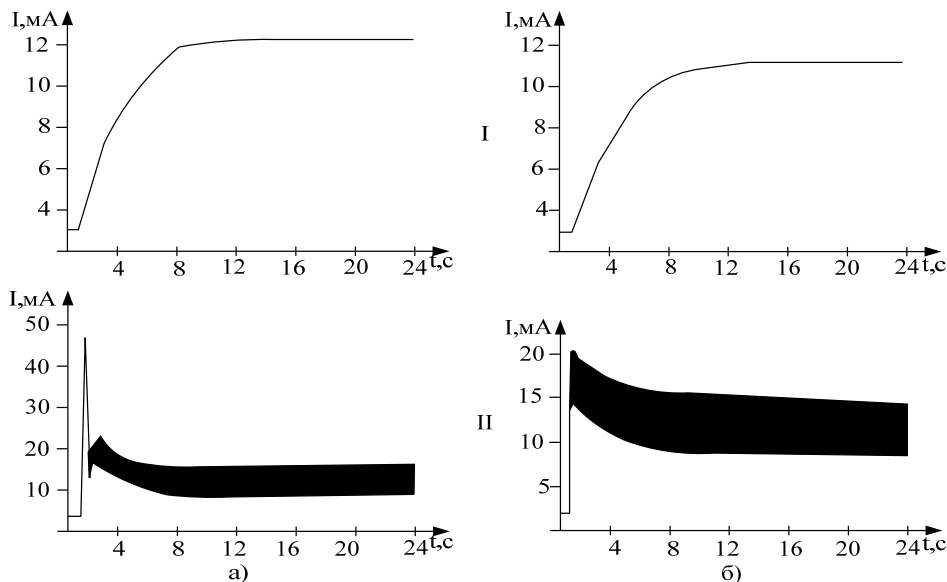


Рис. 4. Криві перехідного процесу струму в датчиках пристрою захисту з двома трансформаторами струму і параметрами ізоляції обмотки відносно землі:
а) $R = 100 \text{ кОм}$; $R_{II} = 0 \text{ кОм}$; $C = 0,1 \text{ мкФ}$; б) $R = 100 \text{ кОм}$; $R_{II} = 1 \text{ кОм}$; $C = 0,1 \text{ мкФ}$

Висновок

Запропоновано метод реалізації функціональної характеристики захисту обмотки статора синхронного генератора від ОЗЗ, який ґрунтується на обчисленні струму через місце витікання, на основі вимірювання активного опору ізоляції обмотки статора відносно землі і опору в місці замикання в перший момент його виникнення, а також параметрів обмотки статора синхронного генератора, які вважаються постійними. Це дозволило наблизити функціональну характеристику захисту до оптимальної.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вавин В. Н. Релейная защита блоков турбогенератор–трансформатор / В. Н. Вавин. — М. : Энергоиздат, 1982. — 256 с.
2. Совершенствование средств защиты от однофазных замыканий на землю в блоке генератор–трансформатор / В. М. Кутин, А. В. Кобылянский, О. А. Кульматичский [и др.] // Электрические станции. — 1986. — № 4. — С. 59—61.
3. Кутін В. М. Наукові основи побудови комбінованої системи діагностування систем електропостачання змінного та постійного струму (теорія дослідження та розробка) / В. М. Кутін. — Вінниця : 2002. — 536 с.
4. А. с. 1065951 (СССР). Устройство для защиты сети переменного тока с изолированной нейтралью от однофазных замыканий на землю / В. М. Кутин, А. В. Кобылянский ; опубли. 1984, Бюл. № 1.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем

Стаття надійшла до редакції 10.10.11
Рекомендована до друку 20.11.11

Кутін Василь Михайлович — професор кафедри електричних станцій та систем;

Шпачук Олександр Олександрович — студент Інституту електроенергетики та електромеханіки.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця