

DOI: 10.31319/2519-2884.40.2022.9

УДК 621.313.322

В.Б. Нізімов, д.т.н., професор, vikbor36@gmail.com

І.В. Філін, асистент, int.igry.dndz@gmail.com

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

КЕРУВАННЯ КОНТУРОМ ЗБУДЖЕННЯ АВТОНОМНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПРИ КОРОТКИХ ЗАМИКАННЯХ У СТАТОРІ

У роботі вирішена актуальна наукова задача, яка полягає в розробці, теоретичних та експериментальних дослідженнях пристроїв до режимів гасіння магнітного поля синхронних машин з компенсацією інерційності контуру збудження. Метою роботи є зменшення наслідків короткого замикання в статорі синхронних генераторів. Отримані розрахункові залежності режимів при гасінні магнітного поля за рахунок вмикання ємнісних накопичувачів енергії. Розроблені пристрої для різних схемотехнічних рішень, підтверджених наведеними осцилограмами. Працездатність розроблених пристроїв не залежить від наявності напруги, яка живить систему збудження у режимі гасіння магнітного поля.

Ключові слова: синхронна машина, коротке замикання, ємнісний накопичувач енергії.

The actual scientific problem is solved in the work, which consists in development, theoretical and experimental researches of devices to modes of damping of magnetic field of synchronous machines with compensation of inertia of excitation contour. The aim is to reduce the effects of short circuit in the stator of synchronous generators. The calculated dependences of the regimes when extinguishing the magnetic field due to the inclusion of capacitive energy storage devices are obtained. Devices for various circuit solutions confirmed by the given oscillograms are developed. The efficiency of the developed devices does not depend on the presence of voltage that supplies the excitation system in the mode of magnetic field quenching.

Key words: synchronous machine, short circuit, capacitive energy storage.

Постановка проблеми

Автономні генеруючі установки (АГУ) на базі синхронних генераторів (СГ) знайшли широке застосування на морських та річкових суднах, у гірських місцевостях та островах. При експлуатації АГУ можливе пошкодження ізоляції обмоток статора СГ, в результаті чого виникають короткі замикання (к.з.).

Найбільш важким режимом роботи СГ є внутрішні короткі замикання у статорі, що призводять до руйнування обмоток, а у ряді випадків — вигорання заліза статора. Причому струм обмотки збудження (ОЗ) індукуює електрорухома силу (е.р.с.), яка живить точку к.з. Для зменшення наслідків к.з. необхідно зменшити струм збудження, який визначає магнітне поле.

Тому актуальною технічною задачею є розробка пристроїв, які забезпечать надійність ліквідації к.з. у статорі синхронних генераторів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

При роботі синхронних генераторів електрорухома сила визначається частотою обертання теплового двигуна (газова турбіна, дизельний двигун) та магнітним потоком, який залежить від струму збудження. Для зменшення обсягу руйнування необхідно зменшити е.р.с. шляхом зменшення магнітного потоку, який визначається струмом збудження. Для зменшення струму збудження при коротких замиканнях необхідно зменшити сталу часу обмотки збудження за рахунок вмикання в останній активного резистора або зустрічної е.р.с. від допоміжного генератора [1, 2].

Трифазні короткі замикання на виводах статора призводять до найбільш тяжких наслідків, які пошкоджують ізоляцію обмоток. Найбільш частим видом короткого замикання є однофазне на корпус генератора або двофазне між собою.

Найбільший струм к.з., що встановився, в синхронній машині має місце при однофазному короткому замиканні, струм подвійного однофазного короткого замикання (двофазного замикання на нейтраль) більше струму симетричного короткого замикання.

Формулювання мети дослідження

Теоретичне та експериментальне дослідження способів та пристроїв гасіння магнітного поля з метою зменшення негативних наслідків короткого замикання СГ.

Виклад основного матеріалу

Визначені вирази струмів збудження для різних пристроїв гасіння поля СГ [3].

При зменшенні сталої часу ОЗ вмиканням розрядного резистора струм збудження визначається виразом

$$i_f = -\frac{1}{R_f(K+1)(T_{\sigma f}p+1)} p \Psi_{\delta d}. \quad (1)$$

При вмиканні в ОЗ зустрічної е.р.с. струм визначається

$$i_f = -\frac{1}{R_f(T_{\sigma f}p+1)} \cdot (KU_f + p \Psi_{\delta d}). \quad (2)$$

При компенсації електромагнітної інерційності вмиканням електричної ємності в контур збудження

$$i_f = -\frac{T_c p}{R_f(T_{\sigma f} \cdot T_c p^2 + T_c p + 1)} p \Psi_{\delta d}, \quad (3)$$

де $T_{\sigma f} = \frac{x_{\sigma f}}{R_f}$; $T_c = \frac{x_c}{R_f}$ — відповідно сталі часу контуру збудження; $x_{\sigma f}$ — індуктивний опір

розсіювання контуру збудження; $\Psi_{\delta d}$ — складова робочого потокозчеплення в зазорі СМ; x_c — ємнісний опір накопичувача на частоті мережі; U_f , i_f , R_f — відповідно напруга, струм, активний опір і потокозчеплення ОЗ; $p = \frac{d}{dt}$ — оператор диференціювання за часом.

Вмикання додаткових елементів у режимі гасіння поля необхідно проводити за допомогою безконтактних силових елементів. Для вимикання тиристорів збуджувачів застосовують ємнісний накопичувач енергії (ЄНЕ). Примусове вимикання тиристорів збуджувача забезпечується або зустрічною напругою, або зустрічним струмом ємнісного накопичувача енергії.

При гасінні магнітного поля збудження СГ, що працює в режимі близькому до режиму вільного ходу, справедлива наступна система рівнянь для подовжньої осі СГ

$$\left. \begin{aligned} u_d &= -\eta i_d + p \Psi_{\delta d} - x_{\sigma} p i_d - \Psi_q \omega; \\ u_q &= -\eta i_q + p \Psi_{\delta q} - x_{\sigma} p i_q + \Psi_d \omega; \\ u_f &= r_f i_f + p \Psi_{\delta d} - x_{\sigma f} p i_f + \frac{1}{p} x_c i_f; \\ u_{kd} &= r_{kd} i_{kd} + p \Psi_{\delta d} - x_{\sigma kd} p i_{kd}; \\ u_{kq} &= r_{kq} i_{kq} + p \Psi_{\delta q} - x_{\sigma kq} p i_{kq}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Отримані розрахункові залежності режиму гасіння поля СГ наведені на рис. 1. Аналіз розрахункових залежностей показує, що найбільш інтенсивне гасіння поля СГ відбувається при включенні електричної ємності НЕ в ОЗ. Включення паралельно ємності НЕ розрядного резистора R_{cn} дозволяє істотно знизити рівень перехідної напруги до $K_c = 4,4$ замість $K_c = 8,3$. Включення розрядного резистора кратністю $K_p = 10$ з АГП забезпечує практично рівну швидкодію, але з більш високим рівнем перенапруги на ОЗ. При інвертуванні збуджувача з кратністю форсування 1,7 час гасіння поля до $0,2 \Psi_0$ збільшується на 11 % у порівнянні з резисторним варіантом.

Розроблений пристрій, який забезпечує режим форсування струму або гасіння магнітного поля, наведено на рис. 2.

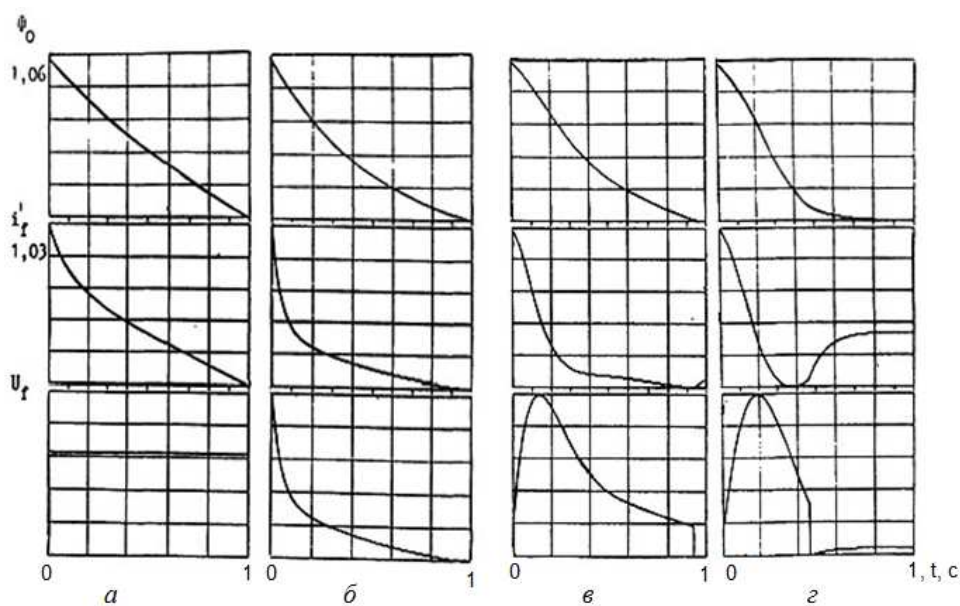


Рис. 1. Розрахункові залежності процесів гасіння поля модельного СГ: а — при інвертуванні збуджувача, $K_u = 1,7$; б — при ввімкненні розрядного резистора в ОЗ, $K_p = 10$; в — при розрядному резисторі та ємнісному накопичувачі енергії, $K_{CR} = 4,4$; г — при вмиканні в ОЗ ємнісного накопичувача енергії $K_c = 8,3$

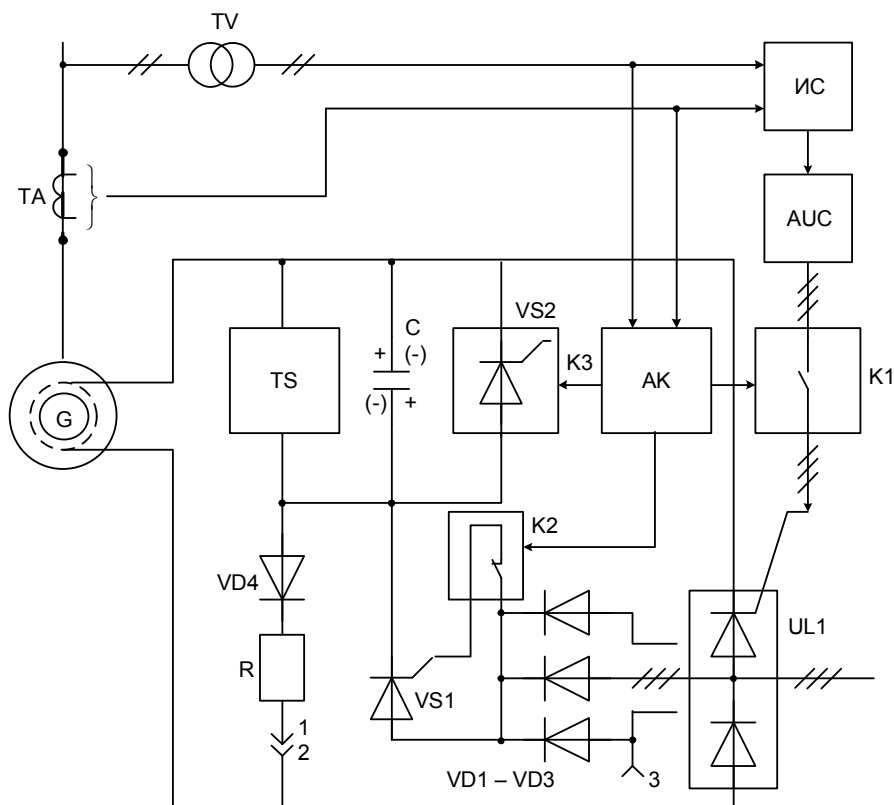


Рис. 2. Принципова схема пристрою для керування СГ з ЄНЕ: G — синхронний генератор; TV — датчик напруги; TA — датчик струму; TS — джерела зарядної напруги; АК — блок керування гасінням поля; АUC — блок керування

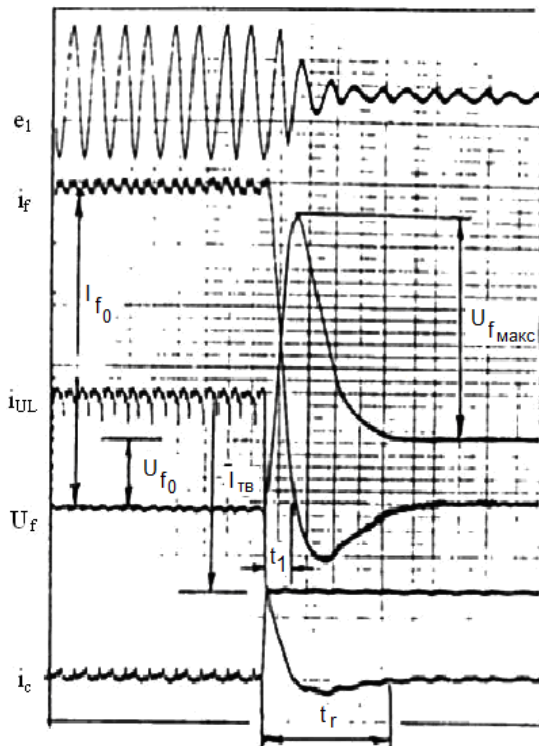


Рис. 3. Осцилограма процесу гасіння поля СГ з перезарядом СНЕ в контурі збудження

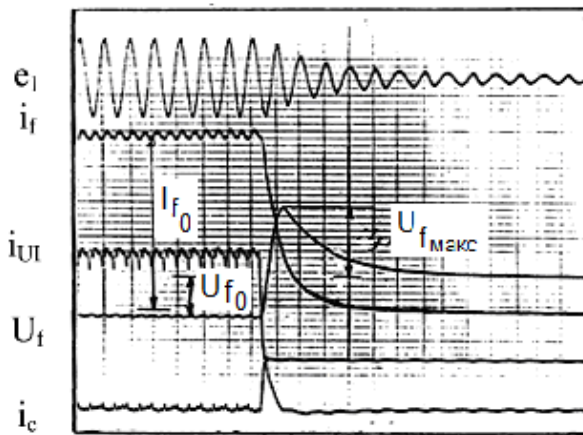


Рис. 5. Осцилограма процесу гасіння поля СГ при аперіодичній зміні струму в контурі збудження $C = 500$ мкФ; $U_{f0} = 50$ В; $I_{f0} = 10$ А; $U_{fmax} = 83$ В

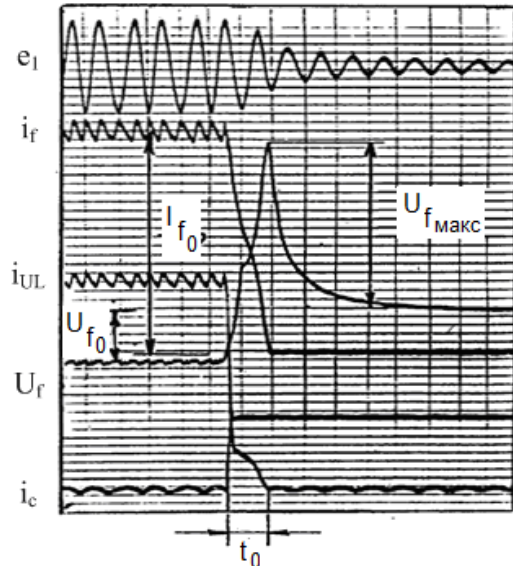


Рис. 4. Осцилограма процесу гасіння поля СГ при лінійній зміні струму в контурі збудження $C = 500$ мкФ; $U_{f0} = 50$ В; $I_{f0} = 10$ А; $U_{fmax} = 149$ В; $t_0 = 0,022$ с

Осцилограма процесу гасіння поля модельного двигуна МСА-72/4, приведена на рис. 3, підтверджує основні теоретичні положення і аналітичні залежності, характерні для коливального розряду СНЕ в контурі збудження.

На рис. 4 приведена осцилограма при раптовому зникненні напруги в мережі живлення. Порівняльна оцінка розрахункових і експериментальних даних показує, що час досягнення струмом збудження нульового значення: розрахункове — 0,019 с; експериментальне — 0,022 с; значення перехідної напруги на обмотці збудження: розрахункове — 155 В; експериментальне — 149 В; кратність перенапруження на обмотці збудження близька до трьох.

На рис. 5 приведена осцилограма при раптовому зникненні напруги в мережі живлення. Порівняльна оцінка розрахункових і експериментальних даних показує, що розрахунковий час гасіння поля — 0,066 с, експериментальне — 0,072 с; значення перехідної напруги на обмотці збудження і вузлі гасіння поля: розрахункове — 81,3 В, експериментальне — 83 В.

Висновки

На підставі аналітичного і теоретичного огляду доведено, що інерційність контуру збудження й наявність заспокоюючих контурів СГ не дозволяє ефективно керувати контуром збудження в режимах гасіння поля. Використання ЄНЕ в схемі системи збудження синхронного генератора дало можливість встановити особливості перехідних процесів гасіння магнітного поля в контурі збудження в порівнянні з існуючими системами.

Проведеними експериментами доведено доцільність використання розробленого пристрою в режимах гасіння магнітного поля синхронної машини і переваги над існуючими пристроями.

Список використаної літератури

1. Брон О. Б. Автоматы гашения магнитного поля. М., Л. : Госэнергоиздат, 1961. 138 с.
2. Глебов И.А. Электроагнитные процессы систем возбуждения синхронных машин. Л: Наука, 1987. 344 с.
3. Хоменко В. І., Нізімов В.Б. Режим короткого замикання синхронних машин автономної генеруючої установки. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: збірник наукових праць*. Краматорськ : ДДМА, 2012. №4 (29). С. 82–85.
4. Устройство для управления возбуждением синхронной машины. Низимов В.Б., Колычев С.В. А.с.СССР.№ 1312715, заявл. 21.10.85; опубл. 23.05.87, Бюл. № 19. 3 с.
5. Устройство для возбуждения синхронного электродвигателя. Низимов В.Б., А.с. СССР № 1599961, заявл. 18.10.88; опубл. 15.10.90, Бюл. № 38. 3 с.

MANAGE THE EXCITATION CONTOUR OF AN AUTONOMOUS SYNCHRONOUS GENERATOR WITH SHORT CIRCUITS IN THE STATOR

Nisimov V., Filin I.

Abstract

The actual scientific problem is solved in the work, which consists in development, theoretical and experimental researches of devices which provide reduction of negative consequences at short circuits in a stator of synchronous machines.

The most difficult mode of operation of synchronous machines is internal short circuits in the stator, which leads to the destruction of the windings, and in some cases — the burning of steel. Moreover the current of the excitation winding induces emf, which feeds the point k.z. To reduce the effects of k.z. it is necessary to reduce the excitation current that determines the magnetic field.

Despite the relative short-livedness, k.z. lead to power failure, but also adversely affects the operation of adjacent, especially loaded electrical receivers and, in addition, can cause failure of the excitation system SG.

Therefore, the urgent technical task is to develop devices that ensure the reliability of the elimination of short-circuits in the stator of the synchronous generator.

Comparative analysis of the obtained expressions shows that the inclusion of electrical capacity contributes to a more intense change in the current of the OZ.

It is proved that a significant amount of time and the presence of soothing circuits SG do not allow to intensively dampen the magnetic field.

The experiments confirmed the feasibility of using the developed device in the modes of damping the magnetic field of the synchronous generator and identified the advantages over existing devices.

References

- [1] Bron, O.B. (1961). *Avtomaty gasheniya magnitnogo polya [Automatic magnetic field quenching machines]* M., L.: Gosenergoizdat, 138 p.
- [2] Glebov, I.A. (1987). *Elektromagnitnye protsessy system возбуждениya sinkhronnyh mashyn [Electroagnetic processes of excitation systems of synchronous machines]*. L: Nauka, 344 p.
- [3] Khomenko, V.I., & Nizimov, V.B. (2012) Rezhim korotkogo zamikannia sinkhronnih mashin avtonomnoi generuiuchoi ustanovki. *Visnyk Donbaskoi derzhavnoi mashinobudivnoi akademii: zbirnyk naukovykh prats*. Kramatorsk: DDMA. №4 (29). P. 82–85.
- [4] A.s.№ 1312715 USSR. Ustroistvo dlya upravleniya возбуждениem sinkhronnoi mashiny [Device for controlling the excitation of a synchronous machine]. Nizimov V.B. & Kolychev S.V. claimed 21.10.85; publ. 23.05.87, bull. № 19. 3 p.
- [5] A.s. № 1599961 USSR. Ustroistvo dlya возбуждениya sinkhronnogo elektrodvigatelya [Device for excitation of the synchronous electric motor]. Nizimov V.B. claimed 18.10.88; publ. 15.10.90, bull. № 38. 3 p.