

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА. ЕЛЕКТРОНІКА

DOI: 10.31319/2519-2884.40.2022.8

УДК 621.313.323

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

І.А. Гонконог, здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти

М.В. Черствяков, здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти
Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

САМОЗАПУСК СИНХРОННИХ ДВИГУНІВ З КОМПЕНСАЦІЄЮ ІНЕРЦІЙНОСТІ КОНТУРУ ЗБУДЖЕННЯ

У роботі вирішена актуальна наукова задача, яка полягає в розробці, теоретичних та експериментальних дослідженнях пристроїв до самозапуску синхронних двигунів з компенсацією інерційності контуру збудження. Метою роботи є підвищення надійності режиму самозапуску синхронних двигунів відповідальних механізмів для збереження безперервності складних технологічних процесів. Отримані розрахункові залежності режимів самозапуску СД при гасінні магнітного поля за рахунок вмикання ємнісних накопичувачів енергії. Розроблений пристрій для самозапуску СД потужністю 1000 кВт приводу насосного агрегату з ЄНЕ впроваджено на насосній станції Дніпровського металургійного комбінату. Працездатність розробленого пристрою не залежить від наявності напруги, яка живить систему збудження у режимі самозапуску.

Ключові слова: синхронний двигун, самозапуск, ємнісний накопичувач енергії

The actual scientific problem is solved in the work, which consists in the development, theoretical and experimental researches of devices for self — starting of synchronous motors with compensation of inertia of excitation circuit. The aim of the work is to increase the reliability of the self-starting mode of synchronous motors of responsible mechanisms to maintain the continuity of complex technological processes. The calculated dependences of the self-starting modes of SD when extinguishing the magnetic field due to the inclusion of capacitive energy storage devices are obtained. The developed device for self-starting of the SD with a capacity of 1000 kW of the drive of the pump unit with ENE is implemented at the pumping station of the Dnieper metallurgical plant. The efficiency of the developed device does not depend on the presence of voltage that supplies the excitation system in the self-starting mode.

Keywords: synchronous motor, self-starting, capacitive energy storage.

Постановка проблеми

Сучасні системи електропостачання володіють високим ступенем надійності за наявності резервування елементів систем електропостачання, застосування засобів релейного захисту і швидкодіючої автоматики, що робить втрату електроживлення споживачів досить рідкісною подією.

Однак, у випадку природних катастроф і стихійних лих перерви електроживлення можуть спричинити тривалі порушення технологічних процесів, великі матеріальні втрати, а в ряді випадків пожежі і вибухи, що може призвести до техногенних катастроф.

У цих умовах для живлення відповідальних електроприводів механізмів, наприклад, шахтних вентиляторів, водонасосних станцій необхідно застосовувати режим самозапуску синхронних двигунів (СД). Застосування імпульснодугових комутаторів та автоматів гасіння поля у безконтактних статичних системах збудження є недоцільним через можливість перенапруження.

Тому актуальною технічною задачею є розробка схемотехнічних рішень, які забезпечують надійність режиму самозапуску СД.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Відмінною особливістю [1] самозапуску СД є одиночний або груповий вибіг з наступним розгоном при відновленні електроживлення. Причому в момент відновлення електроживлення ряд двигунів або їх значна частина має кутову швидкість, яка відрізняється від нуля, що як правило, забезпечує підвищені моменти обертання в порівнянні з пуском з нерухомого стану при одному і тому ж значенні напруги живлення. Зазвичай самозапуск СД відбувається при навантажених механізмах, що призводить до збільшення тривалості розгону через зниженої напруги в період його відновлення. Наявність збудження у СД при несинхронному ввімкненні може викликати значні струми статора та електромагнітного моменту, що небезпечно для двигунів. Тому найбільш оптимальними умовами самозапуску є мінімальний струм включення і максимально можливий вхідний момент.

Для обмеження динамічних навантажень необхідно мати можливо менше значення е.р.с. статора СД з метою обмеження струму включення, що може бути досягнуте застосуванням різних способів і засобів гасіння поля [2, 3, 4], збільшенням часу введення автоматичного повторного включення (АПВ) або автоматичного включення резерву (АВР) [5, 6, 7].

Номінально завантажені СД після виводу їх з синхронізму, як правило, самостійно не ресинхронізуються [5, 6, 7], що пов'язано з зупинками відповідальних механізмів, порушенням безперервності технологічних процесів і значним економічним збитком. Проте, для успішного самозапуску в умовах відновлення напруги СД повинні мати надлишковий момент, що можливо досягти при мінімально можливому часі перерви електроживлення.

Формулювання мети дослідження

Мета дослідження — підвищення надійності режиму самозапуску синхронних двигунів відповідальних механізмів для збереження безперервності складних технологічних процесів.

Виклад основного матеріалу

Один з розроблених варіантів пристрою збудження СД, який забезпечує режими форсування струму і гасіння поля, приведений на рис. 1 [10]. При синхронному ході двигуна струм у контурі збудження визначається початковою уставкою збуджувача.

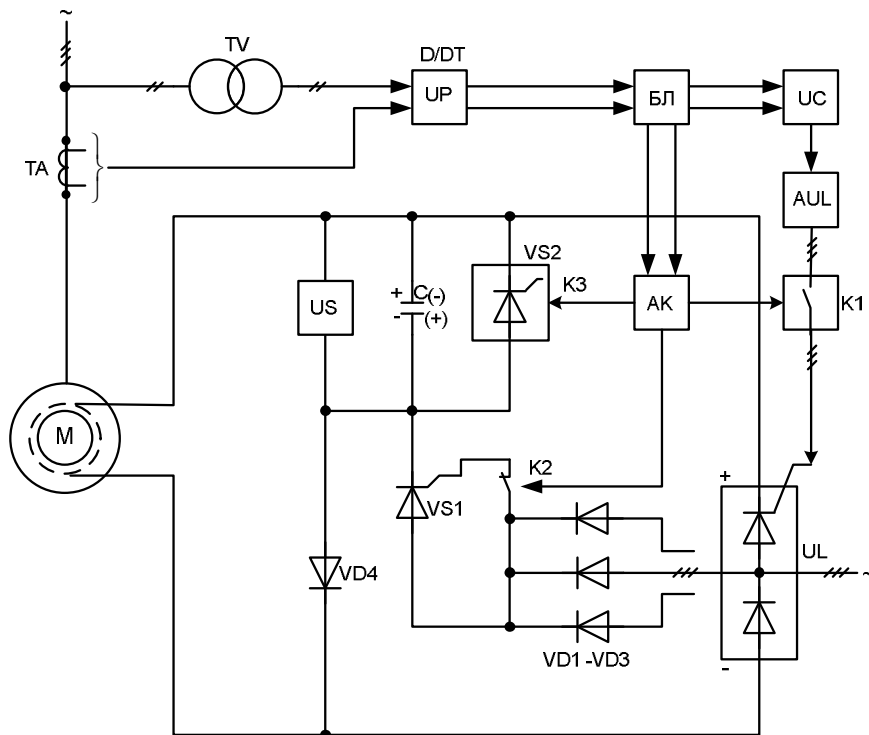


Рис. 1. Принципова схема пристрою керування контуром збудження синхронного двигуна

Крім того, накопичувач енергії (НЕ) отримує підзаряд від збуджувача. На блок логіки (БЛ) надходить сигнал від похідної потужності по куту навантаження UP , який у відносних одиницях пропорційний похідній від моменту по куту навантаження. Основною функцією БЛ являється визначення знака похідної від моменту по куту навантаження і стан тиристора $VS2$, який визначає режим керування контуром збудження: при увімкненому $VS2$ — режим форсування, при вимкненому $VS2$ — режим гасіння поля.

Для успішного самозапуску номінально навантажених СД визначальним фактором, крім величини вхідного моменту, є допустимий час перерви електроживлення, який визначається значенням струму несинхронного включення. Для оцінки впливу різних СЗ на самозапуск СД розраховані перехідні процеси вказаного режиму [8, 9].

На рис. 2 представлені розрахункові залежності режиму самозапуску СД при включенні в обмотку збудження (ОЗ) чотирикратного розрядного резистора. При цьому допустимий час на самозапуск склав $T_R = 1,32 T_u$ при кратності струму на ОЗ, рівній $K_R = 4,0$.

Істотне зниження часу гасіння поля СД досягається вимиканням із роботи тиристорів збуджувача зустрічним струмом ємнісного накопичувача енергії (ЄНЕ). На рис. 3 наведено розрахункові залежності вказаного режиму при ємності накопичувача енергії $C = 2500$ мкФ. Аналіз розрахункових залежностей показує, що час гасіння поля становить $T_f = 0,435 T_u$ при рівні перенапруг на ОЗ $K_c = 7,73$.

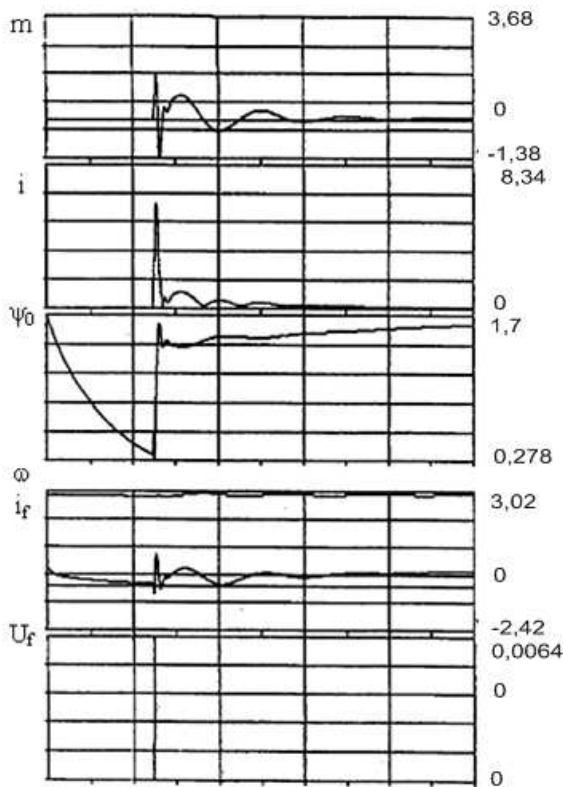


Рис. 2. Розрахункові залежності режиму самозапуску СД при включенні в ОЗ чотирикратного резистора

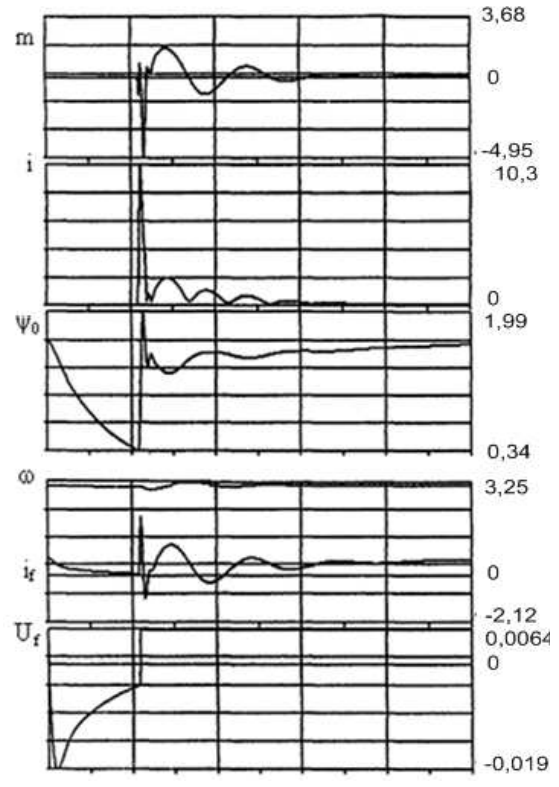


Рис. 3. Розрахункові залежності режиму самозапуску СД з замиканням ОЗ при НЕ 2500 мкФ

Розроблений пристрій для самозапуску СД приводу насосного агрегату з ЄНЕ впроваджено на насосній станції Дніпровського металургійного комбінату. Параметри привідного синхронного двигуна: номінальна потужність 1000 кВт, 600 об/хв, напруга і струм статора відповідно 6000 В і 112 А. Ємність накопичувача енергії 800 мкФ. Осцилограми самозапуску зазначеного двигуна наведена

на рис. 4. З аналізу осцилограми випливає, що час перерви електроживлення складає 1,54 с при кратності перенапружень на ОЗ, що дорівнює $K_{RC} = 3,46$ [11].

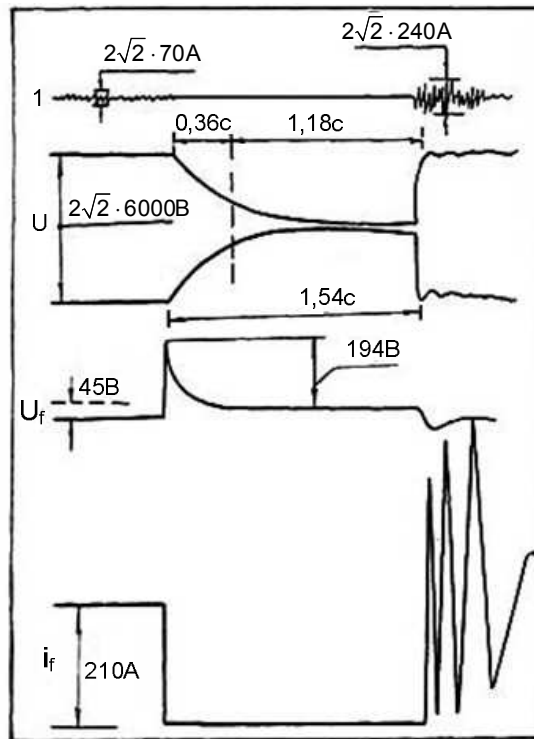


Рис. 4. Осцилограма самозапуску одиночного СД привода насосного агрегату з ЄНЕ

Висновки

1. Використання ємнісного накопичувача енергії (ЄНЕ) у контурі збудження забезпечує компенсацію інерційності ОЗ та підвищення вхідного монета і інтенсивне гасіння магнітного поля.

2. Розроблені пристрої забезпечують надійний самозапуск синхронних електроприводів механізмів з безперервними технологічними процесами незалежно від наявності напруги у системі електроживлення збуджувача.

Список використаної літератури

1. Голоднов Ю. М. Самозапуск электродвигателей. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Энергоатомиздат, 1985. 136 с.
2. Брон О. Б. Автоматы гашения магнитного поля. М., Л. : Госэнергоиздат, 1961. 138 с.
3. Низимов В. Б., Низимов Р. В. Сравнительная оценка устройств гашения поля синхронных двигателей. *Науковий вісник НГА України*. 2000. № 2. С. 87–90.
4. Низимов В. Б., Низимов Р. В. Гашение магнитного поля синхронных двигателей с емкостными накопителями энергии в контуре возбуждения. *Проблемы создания новых машин и технологий*. Кременчуг : КГПИ. 2000. Вып. 1. С. 95–100.
5. Сивокобыленко В. Ф., Краснокутская Г. В. Управление возбуждением синхронного двигателя в режимах пуска и ресинхронизации. *Електричество*. 1998. № 2. С. 44–48.
6. Урусов И. Д., Камша М. М. Анализ некоторых способов улучшения асинхронных характеристик синхронных двигателей для обеспечения их синхронизации. *Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт*, 1979. № 4. С. 83–91.

7. Соколов Н. И., Сумцов И. А., Кременецкий А. М. Ресинхронизация синхронных двигателей многократной форсировкой возбуждения. *Электричество*. 1975. № 5. С. 43–48.
8. Низимов В. Б., Низимов Р. В. Математическая модель синхронного двигателя с емкостными накопителями энергии в контуре возбуждения. *Проблемы создания новых машин и технологий*. Кременчуг : КГПИ. 2000. Вып. 1. С. 41–44.
9. Низимов В. Б., Низимов Р. В. Математическое описание синхронного двигателя с емкостными накопителями энергии в контуре возбуждения. *Проблемы создания новых машин и технологий*. Кременчуг : КГПИ. 2000. Вып.2. С. 17–19.
10. Низимов В. Б., Филин И.В. Компенсация инерционности контура возбуждения автономной генерирующей установки при форсировке напряжения. *Научный журнал "Интернаука"*. 2020. Вып. №20(100). С. 72–76.
11. Нізімов В.Б. Системи керування синхронними електроприводами з ємнісними накопичувачами енергії в контурі збудження : автореф. дис. ... док. техн. наук : Дніпропетровськ 2002: <http://www.allbest.ru>.

SELF-STARTING OF SYNCHRONOUS MOTORS WITH COMPENSATION INERTION OF THE EXCITATION CONTOUR

Nizimov V., Tonkonog I., Cherstvyakov M.

Abstract

The actual scientific problem is solved in the work, which consists in the development, theoretical and experimental researches of devices for self - starting of synchronous motors with compensation of inertia of excitation circuit. The aim of the work is to increase the reliability of the self-starting mode of synchronous motors of responsible mechanisms to maintain the continuity of complex technological processes. In the event of natural disasters and natural disasters, power outages can cause long-term disruptions of technological processes, large material losses, and in some cases fires and explosions, which can lead to human casualties and significant economic damage.

Under these conditions, the mode of restarting synchronous motors must be used to power the responsible electric drives of mechanisms, such as mine fans, water pumping stations.

To limit the dynamic loads, it is necessary to have the smallest possible value of e.r.s. stator SD in order to limit the switching current, which can be achieved by using various methods and means of extinguishing the field, increasing the time of introduction of automatic re-inclusion or automatic inclusion of the reserve. The calculated dependences of the self-starting modes of SD when extinguishing the magnetic field due to the inclusion of capacitive energy storage devices are obtained. The developed device for self-starting of SD with a capacity of 1000 kW of the drive unit of the pump unit with ENE was implemented at the pumping station of the Dnieper Metallurgical Plant. The efficiency of the developed device does not depend on the presence of voltage that supplies the excitation system in the self-starting mode. The use of ENE in the excitation circuit provides compensation for the inertia of the OZ and increase the input coin and intensive quenching of the magnetic field. The developed devices provide reliable self-starting of synchronous electric drives of mechanisms with continuous technological processes regardless of the presence of voltage in the power supply system of the exciter.

References

- [1] Golodnov, Yu.M. (1985). *Samozapusk elektrodvigateli [Self-starting of electric motors]*. - 2nd edition, revised and supplementary M.: Energoatomizdat, 136 p. [in Russian].
- [2] Bron, O.B. (1961). *Avtomaty gasheniya magnitnogo polya [Automatic magnetic field quenching machines]* M., L.: Gosenergoizdat, 138 p.

- [3] Nizimov, V.B., & Nizimov, R.V. (2000). Sravnitel'naya otsenka ustroystv gasheniya polya sinkhronnyh dvigatelei [The Comparative Estimation of the Synchronous Motor Field Quenching Devices]. *Scientific Journal of the National Academy of Sciences of Ukraine*. № 2. P. 87–90. [in Ukrainian].
- [4] Nizimov, V.B., & Nizimov, R.V. (2000). Gashenie magnitnogo polya sinkhronnyh dvigatelei s emkostnymi nakopitelyami energii v konture возбуждениа [Gassing of the magnetic field of synchronous motors with capacitive energy storage devices in the excitation circuit]. *Problems of creating new machines and technologies*. Kremenichug : KSPI. 2000. Issue. 1. P. 95–100. [in Ukrainian].
- [5] Sivokobylenko, V.F., & Krasnokutskaya, G.V. (1998). Upravlenie возбуждением синхронного двигателя в режимах пуска и ресинхронизации [Synchronous motor excitation control in the starting and resynchronization modes]. *Elektrichestvo*. № 2. P. 44–48.
- [6] Urusov, I.D., & Kamsha, M.M. (1979) Analiz nekotoryh sposobov uluchsheniya asinkhronnyh kharakteristik синхронных двигателей для обеспечения их синхронизации [Analysis of some methods of the asynchronous characteristics improvement of the synchronous motors for maintenance of their synchronization]. *Izv. of Academy of Sciences of USSR. Energetics and transport*, 1979. № 4. P. 83–91.
- [7] Sokolov, N.I., & Sumtsov, I.A., & Kremenetsky, A.M. (1975). Resinkhronizatsiya синхронных двигателей mnogokratnoi forsirovkoi возбуждениа [Resynchronization of synchronous motors by multiple boost excitation]. *Elektrichestvo*. № 5. P. 43–48.
- [8] Nizimov, V.B., & Nizimov, R. V. (2000) Matematicheskaya model синхронного двигателя s emkostnymi nakopitelyami energii v konture возбуждениа [Mathematical model of a synchronous motor with capacitive energy accumulators in an excitation circuit]. *Problems of creating new machines and technologies*. Kremenichug : KSPI. Issue. 1. P. 41–44. [in Ukrainian].
- [9] Nizimov, V.B., & Nizimov, R. V. (2000) Matematicheskaya model синхронного двигателя s emkostnymi nakopitelyami energii v konture возбуждениа [Mathematical model of a synchronous motor with capacitive energy accumulators in an excitation circuit]. *Problems of creating new machines and technologies*. Kremenichug : KSPI. Issue. 2. P. 17–19. [in Ukrainian].
- [10] Nizimov, V.B., & Filin I.V. (2020). Kompensatsiya inertsionnosti kontura возбуждениа avtonomnoi generiruiushchei ustanovki pri forsirovke napryazheniа [Compensation of the inertia of the excitation circuit of an autonomous generating plant during voltage boost]. *Scientific journal "Internauka"*. Issue. 20 (100). P.72–76.
- [11] Nizimov, V.B., (2002). Systemy keruvannya synkhronnyimi elektropryvodami z emnisnymi nakopychuvachami energii v konturi zbudzhennya [Control systems for synchronous electric drives with capacitive energy storage in the excitation circuit]. *Doctor's thesis*. Dnipropetrovsk. [in Ukrainian].