

2.4.5 Энергетические системы и комплексы (технические науки)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ**

Б.А. КОРОБЕЙНИКОВ,¹ д-р техн. наук, профессор
А.В. БОГДАН,² д-р техн. наук, профессор
А.М. ОППАХОДЖАЕВ,¹ старший преподаватель
alisher.o.m@gmail.com

В.А. KOROBEJNIKOV,¹ Dr. Sci. (Tech.), Professor
A.V. BOGDAN,² Dr. Sci. (Tech.), Professor
А.М. OPPANODZHAEV,¹ senior lecturer

¹ Кубанский государственный технологический университет, Российская Федерация, Краснодар

² Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Российская Федерация, Краснодар

¹ Kuban State Technological University, Russian Federation, Krasnodar

² Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Russian Federation, Krasnodar

Аннотация. Развитие промышленных систем электроснабжения требует тщательного анализа переходных процессов, возникающих при пуске асинхронных двигателей. Существующие математические модели недостаточно подробно описывают переходные процессы для некоторых задач, что делает проведенное исследование актуальным. В его основе лежит метод векторного моделирования элементов системы, включая двигатели с глубокопазными роторами. Также используется метод спектрального разложения для аналитического решения уравнений состояния, что позволяет детально исследовать переходные процессы без численного интегрирования. В результате удалось получить аналитические выражения отдельно для свободной и принужденной составляющей токов. Моделирование работы трансформаторов тока нулевой последовательности выявило появление тока небаланса при пуске двигателя, что может приводить к ложной работе устройств релейной защиты. Предложенный подход к математическому моделированию систем электроснабжения с асинхронными двигателями позволяет более детально анализировать переходные процессы, что способствует повышению точности настройки устройств релейной защиты, снижению вероятности ложных срабатываний и минимизации экономических потерь, связанных с некорректным отключением оборудования.

Ключевые слова: система электроснабжения, математическая модель, асинхронный двигатель

Список источников

1. Корогодский В. П. Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1 кВ/ В. И. Коробейников, С. Л. Кужеков, Л. Б. Паперно. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 248 с.: ил.
2. Шалин А. И. Электродвигатели 6-10 кВ. Защита от замыканий на землю при подключении несколькими кабелями / А. И. Шалин, А. С. Хабаров // Новости Электротехники, № 4(46), 2007.
3. Богдан А. В. Токи небаланса дифференциальных защит мощных электродвигателей / А. В. Богдан, Н. Н. Кургузов, Л. И. Кургузова // Электрические станции, № 9, 1980, - С. 46-50.
4. Богдан, А. В. Анализ переходного тока небаланса дифференциальной защиты электродвигателя / А. В. Богдан, Н. Н. Кургузов // Электрические станции, № 6, 1982, - С. 59-61.
5. Дмитриев М. В. Линии 6-35 кВ с однофазными кабелями. Ложная работа релейных защит/ М. В. Дмитриев // Новости Электротехники, № 3(99), 2016.
6. Шалин А. И. Кабельные трансформаторы тока. Способы улучшения характеристик / А. И. Шалин, А. В. Дехтерев // Новости Электротехники, № 6(48), 2008.
7. Математическое моделирование статических элементов системы электроснабжения в координатах обобщенного вектора / Б. А. Коробейников, А. М. Оппаходжаев, Д. И. Сидоров [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". - 2022. - № 1. - С. 42-49. - EDN RMTKVV.
8. Korobeynikov, B. A. Vector Simulation of Deep-Bar Induction Motor / B. A. Korobeynikov, A. M. Oppakhodzhaev, D. I. Sidorov // Journal of Physics: Conference Series, Vladivostok, 07-08 октября 2021 года. - Vladivostok, 2021. - P. 012100. - DOI 10.1088/1742-6596/2096/1/012100.
9. Коробейников, Б. А. Сравнительный анализ использования моделей асинхронного двигателя для расчета режимов многомашинных систем электроснабжения / Б. А. Коробейников, А. М. Оппаходжаев, Д. И. Сидоров, В.В. Голова // Кибернетика энергетических систем : Сборник материалов XLV международной научно-технической конференции, Новочеркасск, 21-23 ноября 2023 года. - Новочеркасск: Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, 2023. - С. 166-170.

**RESEARCH OF ELECTROMAGNETIC TRANSIENTS IN POWER SUPPLY SYSTEMS
WITH ASYNCHRONOUS MOTORS**

Abstract. *The development of industrial power supply systems requires a thorough analysis of transient processes occurring during the start-up of asynchronous motors. Existing mathematical models do not adequately describe transient processes for some applications, making this study relevant. It is based on a vector modeling method for system elements, including motors with deep-slot rotors. A spectral decomposition method is also used to analytically solve equations of state, enabling a detailed study of transient processes without numerical integration. As a result, analytical expressions were obtained separately for the free and forced components of currents. Simulation of the operation of zero-sequence current transformers revealed the occurrence of an unbalance current during motor start-up, which can lead to erroneous operation of relay protection devices. The proposed approach to mathematical modeling of power supply systems with asynchronous motors enables a more detailed analysis of transient processes, which helps improve the accuracy of relay protection device settings, reduce the likelihood of spurious tripping, and minimize economic losses associated with incorrect equipment shutdown.*

Keywords: power supply system, mathematical model, induction motor

References

1. Korogodsky, V. P. Relay Protection of Electric Motors with Voltage Above 1 kV / V. I. Korobeinikov, S. L. Kuzhekov, L. B. Paperno. – Moscow: Energoatomizdat, 1987. – 248 p.: ill.
2. Shalin, A. I. 6–10 kV Electric Motors. Protection Against Earth Faults When Connected by Multiple Cables / A. I. Shalin, A. S. Khabarov // *Novosti Elektrotehniki*, No. 4(46), 2007.
3. Bogdan, A. V. Unbalance Currents of Differential Protection of High-Power Electric Motors / A. V. Bogdan, N. N. Kurguzov, L. I. Kurguzova // *Elektricheskie Stantsii*, No. 9, 1980, pp. 46–50.
4. Bogdan, A. V. Analysis of Transient Unbalance Current in Differential Protection of an Electric Motor / A. V. Bogdan, N. N. Kurguzov // *Elektricheskie Stantsii*, No. 6, 1982, pp. 59–61.
5. Dmitriev, M. V. 6–35 kV Lines with Single-Core Cables. False Operation of Relay Protection / M. V. Dmitriev // *Novosti Elektrotehniki*, No. 3(99), 2016.
6. Shalin, A. I. Cable Current Transformers. Methods for Improving Characteristics / A. I. Shalin, A. V. Dekhterev // *Novosti Elektrotehniki*, No. 6(48), 2008.
7. Korobeinikov, B. A. Mathematical Modeling of Static Elements of the Power Supply System in Generalized Vector Coordinates / B. A. Korobeinikov, A. M. Oppakhodzhaev, D. I. Sidorov et al. // *Electronic Network Multidisciplinary Journal "Scientific Works of KubSTU"*, 2022, No. 1, pp. 42–49. EDN RMTKVV.
8. Korobeynikov, B. A. Vector Simulation of Deep-Bar Induction Motor / B. A. Korobeynikov, A. M. Oppakhodzhaev, D. I. Sidorov // *Journal of Physics: Conference Series, Vladivostok, October 7–8, 2021. – Vladivostok, 2021. – P. 012100. – DOI: 10.1088/1742-6596/2096/1/012100.*
9. Korobeynikov, B. A. Comparative Analysis of Using Induction Motor Models for Operating Mode Calculations of Multimachine Power Supply Systems / B. A. Korobeynikov, A. M. Oppakhodzhaev, D. I. Sidorov, V. V. Golova // *Cybernetics of Power Systems: Proceedings of the XLV International Scientific and Technical Conference, Novocheerkassk, November 21–23, 2023. – Novocheerkassk: Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), 2023. – pp. 166–170.*

© Коробейников Б.А., Богдан А.В., Оппаходжаев А.М., 2025