

Моделирование процесса насыщения трансформатора тока с нагрузкой

К. К. Крутиков¹, В. В. Рожков^{1*}, В. В. Федотов¹

¹ Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет "МЭИ"»
в г. Смоленске, Смоленск, Россия

* uto@sbmpei.ru

Аннотация. В статье рассматриваются математическая основа и имитационное моделирование процессов насыщения трансформаторов тока аperiodическими составляющими токов короткого замыкания. Процессы насыщения трансформаторов тока могут повлиять на правильное действие защит. На электростанциях, в частности атомных, число трансформаторов тока может составлять несколько сотен с различными нагрузками, длинами подводных кабелей и реализацией релейной защиты. При этом определение времени до насыщения имеет существенное значение для построения схем и принципов построения систем релейной защиты и автоматики электростанций. В статье подробно рассмотрены модели динамических процессов в первичной и вторичной цепях трансформаторов тока в динамике. Приведено математическое описание динамических процессов трансформатора тока в номинальном режиме и при коротком замыкании в первичной его цепи. С учетом результатов моделирования дано обоснование целесообразности использования гипотезы о прямоугольной характеристике намагничивания при упрощенных расчетах процессов насыщения. С помощью компьютерной модели продемонстрирована возможность использования характеристик намагничивания в имеющихся на практике протоколах испытаний в режиме холостого хода для моделирования процессов насыщения. Осуществлено моделирование трансформаторов тока для опыта холостого хода и питания трансформатора тока со вторичной стороны, а также при его работе в условиях короткого замыкания на первичной стороне и известной нагрузке на вторичной стороне. Таким образом, с помощью компьютерного эксперимента можно снять вольт-амперные характеристики и перенести их в модели с насыщением трансформаторов тока уже в режиме короткого замыкания. Показана эффективность динамического моделирования трансформаторов тока. Программная реализация модели выполнена средствами структурного имитационного моделирования в пакете MatLab, основанном на решении уравнений матричных структур и эмуляции. Получена эффективная и адекватная реальному трансформатору тока имитационная модель для определения времени его намагничивания.

Ключевые слова: моделирование трансформаторов, имитационное моделирование, процессы насыщения трансформаторов тока, параллельные вычисления

Для цитирования: Крутиков К. К., Рожков В. В., Федотов В. В. Моделирование процесса насыщения трансформатора тока с нагрузкой // Прикладная информатика. 2021. Т. 16. № 4. С. 48–61. DOI: 10.37791/2687-0649-2021-16-4-48-61

Simulation of the saturation process of a current transformer with a load

K. Krutikov¹, V. Rozhkov^{1*}, V. Fedotov¹

¹ Branch of the National Research University "MPEI" in Smolensk, Smolensk, Russia

* umo@sbmpei.ru

Abstract. The article deals with the mathematical basis and simulation of the saturation processes of current transformers with aperiodic components of short-circuit currents. Saturation processes of current transformers can affect the correct operation of the protections. At power plants, in particular atomic ones, the number of current transformers is several hundred with different loads, lengths of supply cables and the implementation of relay protection. At the same time, the determination of the time to saturation is essential for the construction of circuits and principles of construction of relay protection systems and automation of power plants. The dynamic processes in the primary and secondary circuits of current transformers in dynamics are considered in detail. A mathematical description of the dynamic processes of a current transformer in the nominal mode and during a short circuit in its primary circuit is given. The substantiation of the expediency of using the hypothesis of a rectangular magnetization characteristic in simplified calculations of saturation processes is given. The possibility of using the characteristics of magnetization in the test protocols available in practice in the no-load mode to simulate saturation processes has been demonstrated. Simulation of current transformers for the no-load experiment and power supply of the current transformer from the secondary side, as well as during its operation under conditions of a short circuit on the primary side and a known load on the secondary side is carried out. Thus, with the help of a computer experiment, it is possible to take the current-voltage characteristics and transfer them to the model with the saturation of current transformers already in the short-circuit mode. The efficiency of dynamic simulation of current transformers is shown. The software implementation of the model is performed by means of structural simulation in the MatLab package, based on the solution of equations of matrix structures and emulation of parallel computations. It was found that with the adequacy of the model and the real current transformer with the involvement of information from the no-load mode, the determination of the magnetization time from the aperiodic current components from the model is much easier than the analysis by other existing methods. They require detailed design details of the current transformer and the magnetic properties of the steel.

Keywords: saturation processes of current transformers, minimum time until saturation of current transformers, methods of calculation, computer modelling, structural simulation modeling, parallel computing

For citation: Krutikov K., Rozhkov V., Fedotov V. Simulation of the saturation process of a current transformer with a load. *Prikladnaya informatika*=Journal of Applied Informatics, 2021, vol.16, no.4, pp.48-61 (in Russian). DOI: 10.37791/2687-0649-2021-16-4-48-61

Введение

Проблемы насыщения трансформаторов тока со сталью аperiodическими составляющими токов короткого замыкания известны. В ряде достаточно редких случаев они приводили к чрезмерным действиям релейной защиты и неоправданным отключе-

ниям в энергосистемах. Безаварийная работа действующего электрооборудования электростанций, и в частности атомных электростанций (АЭС), обеспечивается многими мерами, в том числе приведенными в [1, 2], а также уточняющими [3]. Несмотря на это, существует определенная опасность некорректной работы защит из-за процесса насыщения