

Моделирование мягкого подключения нелинейной нагрузки к высоковольтной сети выключателем с пофазным приводом главных контактов

В.В. Рожков¹, И.А. Лавров¹, И.А. Малащенко¹, Д.А. Шулакова¹

*¹Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске, Смоленск, Россия
uto@sbmpei.ru

Аннотация. В статье на разработанных динамических математических моделях исследуется проблематика процессов, возникающих при неуправляемом подключении реактивной нагрузки к высоковольтным трехфазным сетям с глухозаземленной нейтралью. При коммутации трансформаторного или реакторного электрооборудования к сети в неблагоприятный момент могут возникать ударные пусковые токи, в десятки раз превышающие номинальный. Эти токи содержат апериодические составляющие, которые намагничивают стальные сердечники аппаратов. Тогда необходима отстройка уставок релейной защиты от бросков токов, что приводит к снижению ее чувствительности и быстрействия при срабатываниях в режимах реальных коротких замыканий. Эффективным техническим решением по снижению ударных токов является использование управляемого пофазного привода главных контактов выключателей. Проведено моделирование динамики схем в среде MatLab и пакете MultiSim для оценки благоприятных моментов включения. Выведено аналитическое выражение для нейтрализации апериодической составляющей потокосцепления сердечников магнитопроводов. При этом условия несинусоидальные броски намагничивающих токов не превосходят заданных контролируемых защитой значений. Отмечена сложность безударного подключения на практике силовых трансформаторов в режим холостого хода, содержащих вторичные обмотки по схемам «звезды» и «треугольника». Тогда во вторичных обмотках при исходной настройке пофазного включения главных контактов выключателя нарушается симметрия фазных потокосцеплений. Результатами проведенного моделирования подтверждено возможное решение проблемы мягкой коммутации в этом случае. Оно состоит в изменении конструкции трансформатора путем внедрения высоковольтных выключателей в фазы «треугольника» соответствующей вторичной обмотки, которые должны быть разомкнутыми в процессе пуска трансформатора с дальнейшим замыканием в предсказуемый момент. Сформирована блок-схема алгоритма работы информационной части для мягкого пофазного включения главных контактов высоковольтного выключателя. Разработанный пакет динамических математических моделей позволяет на основе обработки данных о мгновенных значениях напряжений фаз сети сформировать безударное пофазное подключение реактивной нагрузки с отсутствием апериодических составляющих токов.

Ключевые слова: математическое моделирование, мягкая коммутация, пофазное включение, релейная защита, схемотехнический пакет MultiSim, система компьютерной математики MatLab, апериодические составляющие токов, оптимизация процессов подключения

Для цитирования: Рожков В.В., Лавров И.А., Малащенко И.А., Шулакова Д.А. Моделирование мягкого подключения нелинейной нагрузки к высоковольтной сети выключателем с пофазным приводом главных контактов // Прикладная информатика. 2024. Т. 19. № 5. С. 48–64. DOI: 10.37791/2687-0649-2024-19-5-48-64

Modeling of soft connection of nonlinear load to high-voltage network by switch with phase-by-phase control of main contacts

V. Rozhkov¹, I. Lavrov¹, I. Malashchenkov¹, D. Shulakova¹

¹Branch of the National Research University "MPEI" in Smolensk, Smolensk, Russia
*umo@sbmpei.ru

Abstract. The article uses developed dynamic mathematical models to explore the problems of processes that arise during the uncontrolled connection of a reactive load to high-voltage three-phase networks with a solidly grounded neutral. When switching transformer or reactor electrical equipment to the network at an unfavorable moment, shock inrush currents can occur that are tens of times higher than the rated current. These currents contain aperiodic components that magnetize the steel cores of the devices. Then it is necessary to adjust the settings of the relay protection against current surges, which leads to a decrease in its sensitivity and performance when triggered in real short circuit modes. An effective technical solution to reduce shock currents is the use of a controlled phase-by-phase drive of the main contacts of switches. Simulation of circuit dynamics was carried out in the MatLab system and the MultiSim software to assess favorable switching moments. An analytical expression is derived for neutralizing the aperiodic component of the flux linkage of magnetic cores. Under this condition, non-sinusoidal surges of magnetizing currents do not exceed the specified values controlled by the protection. The difficulty of shock-free connection in practice of power transformers in idle mode, containing secondary windings in star and delta circuits, is noted. Then in the secondary windings, with the initial setting of the phase-by-phase switching of the main contacts of the switch, the symmetry of the phase flux linkages is broken. The results of the simulation confirmed a possible solution to the soft switching problem in this case. It consists of changing the design of the transformer by introducing high-voltage switches into the delta phases of the corresponding secondary winding, which must be open during the start-up of the transformer and then closed at a predictable moment. A block diagram of the operation algorithm of the information part for soft phase-by-phase switching of the main contacts of a high-voltage circuit breaker has been generated. The developed package of dynamic mathematical models allows, based on processing data on instantaneous values of network phase voltages, to form a shock-free phase-by-phase connection of a reactive load with the absence of aperiodic current components.

Keywords: mathematical modeling, soft switching, phase-by-phase switching, relay protection, MultiSim circuit software, MatLab computer mathematics system, aperiodic components of currents, optimization of connection processes

For citation: Rozhkov V., Lavrov I., Malashchenkov I., Shulakova D. Modeling of soft connection of nonlinear load to high-voltage network by switch with phase-by-phase control of main contacts. *Prikladnaya informatika*—Journal of Applied Informatics, 2024, vol.19, no.5, pp.48–64 (in Russian). DOI: 10.37791/2687-0649-2024-19-5-48-64

Введение

В высоковольтных сетях линий электропередач в электроэнергетике нейтральный провод, как правило, не выведен и глухо заземлен [1]. Высоковольтные выключатели осуществ-

вляют оперативные и аварийные переключения источника сети и нагрузки. С помощью трехполюсных высоковольтных выключателей к таким сетям подключается трехфазная нагрузка, как правило, активно-индуктивного характера.