

Д.С. СЕРГЕЕВ, студент гр. М-ЭО-25-1 (ЛГТУ)
Научный руководитель В.И. ЗАЦЕПИНА, д.т.н., профессор (ЛГТУ)
г. Липецк

МЕТОДИКА КОМПЕНСАЦИИ ЕМКОСТНЫХ ТОКОВ В СЕТЯХ 10 кВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ В MATLAB SIMULINK

В статье рассматривается актуальная проблема компенсации емкостных токов при однофазных замыканиях на землю в распределительных сетях 10 кВ с изолированной нейтралью. Предложена методика, включающая расчет емкостного тока, моделирование переходных процессов в среде Simulink Matlab и выбор компенсирующих устройств. Приведены результаты моделирования и расчеты параметров дугогасящего агрегата и высокоомного резистора, направленные на повышение надежности и безопасности электроустановок.

В распределительных сетях промышленных предприятий напряжением 6-10 кВ с изолированной нейтралью однофазное замыкание на землю является наиболее распространенным видом повреждения. Ток при таком замыкании замыкается через емкости неповрежденных фаз относительно земли и может достигать значительных величин [1]. Нескомпенсированный емкостной ток приводит к ряду негативных последствий: возникновению перемежающейся электрической дуги, вызывающей опасные перенапряжения; пробоем изоляции и развитию повреждения в многофазное КЗ; созданию угрозы для жизни персонала и нарушению непрерывности технологических процессов [2]. Для минимизации этих рисков необходима эффективная компенсация емкостных токов. Целью данной работы является разработка методики выбора компенсирующих устройств на основе точного расчета емкостного тока и верификации результатов путем компьютерного моделирования.

При однофазном замыкании на землю в сети с изолированной нейтралью ток повреждения определяется в основном емкостной составляющей фаз. Для его компенсации и снижения вероятности возникновения дуги применяются два основных типа устройств. Дугогасящие реакторы или агрегаты подключаются к нейтрали трансформатора и индуктивным током, противоположным по фазе емкостному, компенсируют его, оставляя лишь небольшую активную составляющую [3]. Высокоомные резисторы позволяют снизить перенапряжения при повторных зажиганиях дуги и облегчить работу устройств релейной защиты, выделяя активную состав-

ляющую тока. Выбор параметров этих устройств требует точного знания значения емкостного тока сети.

Для проведения исследований в программе Simulink Matlab была разработана модель электрической системы, предназначенная для имитации рабочего режима секции шин 10 кВ и анализа переходных процессов. Модель содержит источник питания 110 кВ, двухобмоточный понижающий трансформатор 110/10 кВ, питающую линию до секции шин, эквивалент нагрузки, соответствующий характерным для предприятия потребителям, и устройство для имитации однофазного короткого замыкания на землю. Контроль электротехнических параметров обеспечивается за счет применения измерительных блоков и виртуальных осциллографов, регистрирующих токи и напряжения в ключевых точках схемы. Основное преимущество разработанной модели заключается в возможности прямого измерения тока в нейтрали трансформатора, что соответствует значению емкостного тока при возникновении однофазного замыкания на землю.

На основе данных, полученных при моделировании, был рассчитан емкостной ток сети. Для выбора дугогасящего агрегата его мощность рассчитывается по формуле:

$$Q_K = I_C \left(\frac{U_H}{\sqrt{3}} \right) S, [\text{ВАр}] \quad (1)$$

где Q_K – требуемая мощность дугогасящего агрегата, Вар; I_C – емкостной ток сети, А; U_H – номинальное линейное напряжение сети, В.

По рассчитанному значению мощности был выбран дугогасящий агрегат типа АДМК с плавным конденсаторным регулированием. Данный агрегат представляет собой совмещенный фильтрно-компенсирующий модуль и эффективно компенсирует емкостной ток, а также подавляет высшие гармоники, снижая риск возникновения перенапряжений. Параллельно был произведен расчет и выбор высокоомного резистора типа РЗН ВО 6-35. Его установка позволяет эффективно гасить дугу при замыканиях и предотвращать пробой изоляции. Сопротивление резистора рассчитывается исходя из требования ограничения тока однофазного замыкания на землю до безопасного уровня.

$$R_N \leq \frac{U_H}{\sqrt{3}I_C}, [\text{Ом}] \quad (2)$$

где R_N – сопротивление резистора, Ом; U_H – номинальное линейное напряжение сети, В; I_C – емкостной ток сети, А.

Ниже на рисунке 1 изображена модель системы электроснабжения.

Предложенная методика, сочетающая расчетные методы и компьютерное моделирование в Simulink, позволяет точно определить параметры

Таким образом, комплексный подход к компенсации емкостных токов является необходимым условием для обеспечения устойчивой работы электроустановок промышленных предприятий.

1. Определение эффективности компенсации емкостных токов однофазного замыкания на землю дугогасящими реакторами различных конструкций на экспериментальном стенде / Д. А. Матвеев, С. И. Хренов, А. В. Жуйков, И. И. Никулов // Электротехника. – 2015. – № 8. – С. 59-64. – EDN UACSOZ.

2. Миронов, И.А. Современное оборудование для компенсации емкостного тока замыкания на землю в сетях 6–35 кВ: тенденции развития // Энергоэксперт. №4. 2013. С. 48–54.

3. Нечаев, Д. Н. Исследование методов организации защиты от однофазных замыканий на землю, основанных на использовании высших гармоник / Д. Н. Нечаев, М. А. Медведев, А. А. Келлер // Проблемы рационального природопользования и история геологического поиска в Западной Сибири : Сборник тезисов X Региональной молодёжной конференции имени В. И. Шпильмана, посвященной 110-летию со дня рождения Героя Социалистического Труда, лауреата Государственной премии СССР, доктора технических наук, профессора Виктора Ивановича Муравленко, Ханты-Мансийск, 07–08 апреля 2022 года. – Ханты-Мансийск: Югорский государственный университет, 2022. – С. 173-174. – EDN XRXKCEO.

Информация об авторах:

Сергеев Данила Сергеевич, студент гр. М-ЭО-25-1, ЛГТУ, 398055, г. Липецк, ул. Московская, д. 30, danilasergeev010@icloud.com

Зацепина Виолетта Иосифовна, д.т.н., ЛГТУ, 398055, г. Липецк, ул. Московская, д. 30, Vizatsepina@yandex.ru