

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ В СЕТИ С РАЗЛИЧНОЙ НАГРУЗКОЙ ПРИ УЧЁТЕ НАСЫЩЕНИЯ МАГНИТОПРОВОДА В ТРАНСФОРМАТОРАХ

Гайфутдинова Э. Р., Закиров Д. Ф.
 ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия
 miragaif07@rambler.ru, qwerty2014dinar@gmail.com
 Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Усачев А. Е.

В докладе сообщается о моделировании процессов, происходящих в сети высокого напряжения с различной по величине активной, ёмкостной и индуктивной нагрузками при насыщении магнитопровода трансформаторов. При моделировании использовалась Т-образная схема замещения трансформатора и линия электропередачи с различными нагрузками. Установлены диапазоны нагрузок различного типа, при которых влияние намагничивания магнитопровода трансформатора на качество электроэнергии в нагрузке следует учитывать.

Ключевые слова: насыщение магнитопровода трансформатора, осциллограммы токов и напряжений в нагрузке, обмотка трансформатора, качество электроэнергии.

Насыщение обмотки трансформатора может приводить к резкому изменению его индуктивности и возможности появления феррорезонансных процессов (ФРП). Эта проблема традиционна в электроэнергетике и ей занимаются многие исследователи в мире уже на протяжении более ста лет [4 – 10]. Вместе с тем, представление трансформатора в виде катушки с переменной индуктивностью в простейших схемах анализа ФРП, присутствующее во многих работах, требует более тщательного обоснования. В работе сообщается о влиянии процессов насыщения магнитопровода трансформатора на осциллограммы токов и напряжений при различной мощности и типе нагрузки. Схема, в которой проводилось моделирование, представлена на рис. 1.

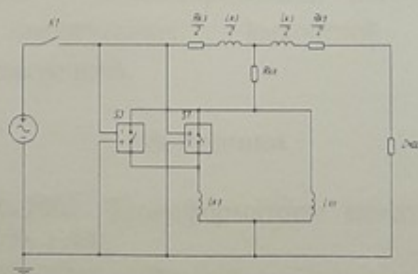


Рис. 1. Схема моделирования феррорезонансных процессов.

На схеме представлены следующие элементы: источник переменного тока частотой 50 Гц, индуктивности и резисторы катушки трансформатора, индуктивности и резисторы линии электропередачи, нагрузка в виде ёмкости, индуктивности и резистора. Моделирование проводилось при величинах нагрузки от 1 до 100 % от номинальной нагрузки трансформатора.

Процесс намагничивания сердечника трансформатора имитировался включением ключей S1 и S3. Ключ S1 подключал индуктивность, равную индуктивности насыщения $L_{кз}$, к индуктивности холостого хода $L_{хх}$ в положительный полупериод при напряжениях больше напряжения насыщения. Ключ S3 работает аналогично ключу S1, но в отрицательный полупериод синусоиды. Время перехода ключей из непроводящего состояния в проводящее выбиралось близкое к времени перехода от индуктивности $L_{хх}$ трансформатора к индуктивности $L_{кз}$.

Символами $R_{хх}$ и $L_{хх}$ обозначены сопротивление и индуктивность трансформатора, определяемые в опыте холостого хода, а $R_{кз}$ и $L_{кз}$ – сопротивление и индуктивность трансформатора, вычисленные из опыта короткого замыкания. В качестве нагрузки Z в моделировании использовались активная, ёмкостная, индуктивная нагрузки, а также последовательно соединённые ёмкость и трансформатор. Замыкание ключа K1 имитировало подачу напряжения на трансформатор и нагрузку.

Установлено, что насыщение магнитопровода практически не сказывается при нагрузках более 1% от номинальной. При подключении ненагруженных линий, которые при моделировании имитировались ёмкостной нагрузкой, после подачи напряжения наблюдались классические затухающие переходные процессы с амплитудой, зависящей от момента включения, частотой, определяемой индуктивностью короткого замыкания трансформатора и ёмкостью нагрузки, и затуханием, зависящем в основном от активного сопротивления КЗ трансформатора. Наиболее сильное влияние насыщения сердечников трансформатора наблюдалось в схеме с комбинированной нагрузкой, состоящей из последовательно соединённых ёмкостной и индуктивной (трансформаторной) нагрузкой.

Источники

1. ГОСТ 30830-2002. Трансформаторы силовые, часть I - общие положения (МЭК 60076-1-93).
2. ГОСТ 1983-2001. Трансформаторы напряжения. Общие технические условия.

3. ГОСТ 11677-85. Трансформаторы силовые. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов. 1986.

4. Голдобин Д.А., Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Волновые процессы и перенапряжения в кабельных линиях высокого напряжения: Учеб. пособие / Новосиб. электротехн. ин-т. – Новосибирск. 1987.

5. Дружинин В.В. Магнитные свойства электротехнической стали. М: Энергия. 1974.

6. Сиротинский Л.И. Техника высоких напряжений. Часть третья. Волновые процессы и внутренние перенапряжения в электрических системах. М: Госэнергоиздат. 1959.

7. Базуткин В.В. и др. Техника высоких напряжений: Изоляция и перенапряжения в электрических системах: Учебник для вузов / В.В. Базуткин, В.П. Ларионов, Ю.С. Пинталь. Под общ.ред. В.П. Ларионова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат. 1986. – 464 с.

8. Электротехнический справочник. Под ред. профессоров МЭИ. 8-е изд. Том 3. Раздел 44. Перенапряжения в электроэнергетических системах и защита от них. – М.: Издательство МЭИ. 2004.

9. Зилес Л.Д. О природе феррорезонанса в электрических цепях. Электричество. 2012. № 1. С. 59-62.

10. Зилес Л.Д. Параметры и области существования феррорезонанса 50 Гц трансформаторов напряжения 110–500 кВ. Электричество. 2014. № 6. С. 25-33.

проф. Усачев А.Е.

Усачев