

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ПРИ КОММУТАЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ до 1000 В

Шманев В.Д.

Научный руководитель канд. тех.наук. доцент Кузьмин С.В.

*Сибирский федеральный университет*

Широкое использование вакуумных выключателей и положительный опыт их эксплуатации в системах электроснабжения 6-10кВ промышленных предприятий позволил использовать вакуумные коммутационные аппараты в сетях до 1000В.

В сетях до 1000В в основном используются вакуумные контакторы (ВК) с номинальным током от 65 до 3000А. Высокая коммутационная износостойкость, практическая одновременность замыкания контактов, минимальные затраты на обслуживание, делают ВК очень привлекательными для эксплуатационного персонала. Однако при коммутации электродвигателей и трансформаторов, ВК создают предпосылки для возникновения значительных коммутационных перенапряжений (КП).

Исследования в этой области носят точечный характер. Поэтому целью исследований являлось изучение перенапряжений при коммутации силовых трансформаторов и электродвигателей в сетях до 1000В.

Было принято решение на первоначальном этапе исследовать КП в лабораторных условиях на реальных трансформаторах и электродвигателях. Т.к. исследования в производственных условиях связано с определенными трудностями : непрерывность технологического процесса, отключение нагрузки, большими количеством операций по включению и отключению трансформатора и электродвигателя.

В период с 2010-2011 на кафедре ЭГМП была создана лаборатория по изучению КП в сетях до 1000В.

Внешний вид лаборатории представлен в верхней части слайда 1.

В качестве объектов исследования использовались силовые трансформаторы  $S=250$  кВА с  $K_T=1,73$  и 4,2 и электродвигатели мощностью 3; 4,5 и 8 кВт. В качестве измерительного оборудования использовались: осциллограф, делитель напряжения ДНЕК 10 и ПКК-57.

Внешний вид измерительного оборудования представлен в нижней части слайда 1.

КП изучались для следующих режимов работы трансформаторов: режим XX, неполно фазный режим работы трансформатора, то есть когда происходит обрыв одной из фаз сети. Изучался переход волны перенапряжений из обмотки ВН в обмотку НН трансформатора. Для электродвигателей исследовали режим XX и отключение не развернувшегося электродвигателя. В данных режимах наблюдались наибольшие уровни КП.

В результате экспериментальных исследований было получено около 1100 осциллограмм для трансформаторов и 900 осциллограмм для электродвигателей.

Статистическая обработка данных, производимая по алгоритму и с помощью формул представленных на слайде 2. В качестве основных критериев по влиянию на

величину КП таких факторов, как коэффициент трансформации трансформатора и мощность электродвигателя использовались  $\chi^2_{\text{пирсона}}$ , сравнение средних значений и сравнение дисперсий. Закономерность максимальных значений КП зарегистрированных в ходе экспериментов определялась проверкой на экстремальность согласно выражений представленных на нижней части слайда 2.

Статистика позволила установить закономерность максимальных значений КП возникающих как на первичной обмотке так и на вторичной обмотке трансформатора. Которые составили при отключение более 50 крат, а при включение более 30 крат при симметричном режиме работы сети.

Осциллограммы с максимальной кратностью представлены на слайде 3. При этом кратность перенапряжений обмотки НН в основном превышает кратность обмотки ВН как при включение и отключение трансформатора. Характерные осциллограммы при включение трансформатора при симметричном режиме приведены на слайде 3.

Проверка выборок на однородность с помощью критериев:  $\chi^2_{\text{пирсона}}$ , сравнение средних значений и сравнение дисперсий показала, что выборки у трансформаторов с разными коэффициентами трансформации ( $K_T$ ), но при одной мощности объединяются, то есть  $K_T$  не оказывает практического влияния на величину перенапряжений возникающих во вторичной обмотке трансформатора.

По этому можем утверждать, что в режиме коммутации энергия из первичной обмотки передается во вторичную за счет емкостных связей между обмотками.

Данное обстоятельство может приводить к пробое изоляции обмоток трансформатора и электрооборудования подключенного вторичной обмотке трансформатора.

В случае обрыва одной из фаз сети коммутация трансформатора приводит к росту кратностей КП если первичная обмотка трансформатора собрана по схеме звезда. Это связано с тем, что изменяются входные параметры трансформатора, то есть его емкость и индуктивность.

Индуктивность в цепи коммутации возрастает в 2 раза, а емкость увеличивается в 1,5 раза. Это приводит к тому что волновое сопротивление трансформатора увеличивается на 20%, в результате кратность перенапряжений может возрасти на 20-25 %. Это видно из информации представленной на слайде 4. На слайде показаны изменения входных параметров трансформатора, а в нижней части характерные осциллограммы при отключение трансформатора. При этом кратность перенапряжения на вторичной обмотке составила 61,6, а на первичной обмотке 41,6 то есть напряжение возросло до 13,5 кВ на вторичной обмотке и до 15,8 кВ на первичной обмотке.

Подобные перенапряжения представляют серьезную опасность для обмоток трансформатора. Поэтому эксплуатация трансформатора в сетях до 1000В которые коммутируются вакуумным контактором без средств защиты от КП небезопасно.

Таким образом, полученные результаты в первую очередь указывают на актуальность разработки средств защиты трансформаторов , эксплуатируемых в сетях до 1000В ,от КП которая будет решаться в ближайшей перспективе.