Качесов Владимир Егорович. Однофазные повреждения в электрических сетях среднего и высокого классов напряжения : теория, методы исследования и меры предотвращения повреждений : диссертация ... доктора технических наук : 05.14.02, 05.14.12 / Качесов Владимир Егорович; [Место защиты: Том. политехн. ун-т].- Новосибирск, 2008.- 462 с.: ил. РГБ ОД, 71 09-5/97

«Однофазные повреждения в электрических сетях среднего

и высокого классов напряжения

(теория, методы исследования и меры предотвращения

повреждений)»

Специальность:

05.14.02 - Электростанции и электроэнергетические системы; 05.14.12 — Техника высоких напряжений.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук

Научный консультант - д.т.н., проф. К.П. Кадомская

Новосибирск - 2008

Введение 2

1. Исследование перенапряжений при коммутации двигательных присоединений в сетях СН 22

1.1 Постановка задачи 22

1.1.1 Уровни воздействующих перенапряжений и изоляции 22

1.1.2 Классификация перенапряжений 24

1.2 Процессы при включении одной фазы ЭД 25

1.2.1 Включение на ШБМ 25

1.2.2 Включение двигательного присоединения от источника конечной

мощности 35

1.2.2.1 Подключение ЭД к источнику с конечным сосредоточеннным

сопротивлением 35

1.2.1.1 Модель линии с частотно-зависимыми параметрами 39

1.2.1.2 Включение ЭМ от источника с распределенным внутренним

сопротивлением 41

1.2.1 Включение ЭМ в режиме замыкания на землю на шинах секции 48

1.3 Самозащищенность ЭД 51

1.4 Межкатушечные напряжения на обмотках ЭМ 53

1.4.1 О выборе модели обмотки ЭМ 53

1.4.2 Емкостная схема замещения обмотки 54

1.4.3 П-схема замещения катушки с частотно-зависимыми параметрами 56

1.4.4 Схема замещения обмотки элементами с распределенно-

сосредоточенными параметрами 63

1.4.5 Спектральный метод и упрощенные методики расчета 64

1.5 Экспериментальное определение продольных перенапряжений 75

1.5.1 Методика измерений и объект исследований 75

1.5.2 Результаты измерений перенапряжений 77

1.6 Проверка и корректировка моделей катушки ЭД 81

1.6.1 Продольные параметры катушки ЭД 81

1.6.2 Корректировка индуктивности катушки на высоких частотах 84

1.7 Оценка допустимых междувитковых напряжений 94

1.8 Выводы по подразделам 1.1-1.7 95

1.9 Перенапряжения при классическом срезе тока 97

1.10 Эскалация перенапряжений 98

1.10.1 Оценка вероятности эскалаций напряжений 98

1.10.2 Аналитическая модель процесса эскалации 112

1.10.2.1 Постановка задачи 112

1.10.2.2 Механизм погасания дуги в межконтактном промежутке

выключателя 113

1.10.2.3 Модель процесса отключения заторможенного электродвигателя.

Аналитическая оценка максимальных перенапряжений 118

1.10.2.4 Оценка достоверности модели 126

1.10.2.5 Алгоритм использования предложенной методики 126

1.10.2.6 Модель процесса эскалации с учетом ограничения пере¬напряжений 133

1.10.3 Интегральная оценка перенапряжений с использованием

аналитической модели 139

1.10.4 Экпериментальное исследование перенапряжений при коммутациях

ЭД 141

1.10.4.1 Постановка задачи 141

1.10.4.2 Объект исследований, технические требования к системе

мониторинга и ее реализация 142

1.10.4.3 Основные результаты экспериментов 147

1.11 Перенапряжения при виртуальном срезе тока 156

1.11.1 Условие виртуального среза тока 156

1.11.2 Вероятность эскалации напряжения при возрастающем токе

выключателя 162

1.11.3 Вероятность виртуального среза тока 169

1.12 Защита от перенапряжений 173

1.12.1 Варианты защиты ЭД 173

1.12.2 Защита с помощью ОПН, включенного между фазой и землей со

стороны ЭД 173

1.12.3 Защита с помощью ОПН, включенного между фазой и землей за

выключателем присоединения 174

1.12.4 Защита с помощью ОПН, включенного параллельно контактам

выключателя 183

1.12.5 Защита изоляции ЭД с помощью RC - цепочки, включенной

относительно земли 186

1.12.6 Защита с помощью междуфазной RC - цепочки 200

1.12.6.1 Сравнительная эффективность межфазной RC - цепочки 200

1.12.6.2 Об апериодическом характере ВЧ тока в выключателе 211

1.12.7 Оценка эффективности RC-цепочек с оптимизированными

параметрами 221

1.12.8 Предотвращение ВСТ с помощью RC-цепочки 229

1.13 Выводы по первому разделу 230

2. Однофазные замыкания в распределительных сетях 6-35 кВ 236

2.1 Постановка задачи 236

2.2 Экспериментальное исследование однофазных замыканий в

распределительных сетях 240

2.2.1 Аппаратно-программный измерительный комплекс 241

2.2.2 Результаты мониторинга 245

2.2.3 Косвенный метод определения перенапряжений при ОДЗ 258

2.3 Распознавание ОДЗ 265

2.3.1 Сеть с компенсацией ЕТЗЗ 265

2.3.2 Сеть с изолированной нейтралью 274

2.4 Выделение фидера с замыканием на землю 281

2.5 Локация замыканий на землю 285

2.5.1 Введение. Основы параметрической локации 285

2.5.2 Частотно-параметрический метод 287

2.5.2 Дифференциально-параметрический метод 303

2.5.3 Комбинированный метод 323

2.5.3 Метод разброса 327

2.6 Структура системы on-line диагностики 331

2.7 Выводы по второму разделу 335

3. Однофазное автоматическое повторное включение в электропередачах высокого напряжения 338

3.1 Постановка исследований 338

3.2 Первичные параметры В Л СВН 340

3.3 Стационарные режимы бестоковой паузы ОАПВ .\ 344

3.3.1 Упрощенная методика расчета режимных параметров паузы ОАПВ. 344

3.3.2 Точная модель стационарных режимов бестоковой паузы ОАПВ 351

3.3.3 Режим ОАПВ в ВЛ с асимметрией фазных параметров 353

3.3.4 ОАПВ в ВЛ с малой асимметрией первичных параметров 359

3.3.5 Компенсационные способы снижения режимных параметров

бестоковой паузы ОАПВ 361

3.3.6 Адаптивное ОАПВ 364

3.3.7 Псевдо-адаптивное ОАПВ : 375

3.4 Управляемое ОАПВ 377

3.4.1 Компенсация токов подпитки дуги с помощью управляемого

компенсационного реактора (КР) 377

3.4.2 Компенсация восстанавливающихся напряжений 384

3.4.3 Пофазное УОАПВ....- 390

р/2%)

3.4.3 Энергетические нагрузки на защитные аппараты 395 j

3.4.4 О технической реализуемости управляемого ОАПВ 400

3.5 Особенности осуществления ОАПВ в многоцепных В Л 404

3.5.1 Общие положения 404

3.5.2 Комбинированная ВЛ 1150/500 кВ 405

3.5.3 Двухцепная ВЛ 765 кВ 411

3.6 Интегральная оценка эффективности ОАПВ 416

3.6.1 Постановка исследований 416

3.6.3 В Л с горизонтальным расположением фаз 416

3.6.3 В Л с треугольным расположением фаз 421

3.6.4 Определение эффективности ОАПВ на конкретной ЛЭП 423

3.7 Выводы по третьему разделу 427

Заключение 430

Список литературы 434

Приложение. Документы [ 450 1 © Авторское право Качесов В.Е., 2008 г.

Исходя из принятых выше условий осуществления коммутации повторного включения, зависимости рис.3.28,б с учетом увеличения энергии при дополнительной коммутации ТАПВ (т.е. с коэффициентом равным 1,7-1,9) и снижения (на 30-40%) за счет короны могут служить для оценки требуемой максимальной энергоемкости защитных аппаратов. Значения кривых равной энергии с учетом коммутации ТАПВ и короны увеличиваются на 10-30%, т.е. в среднем приблизительно равны: 1,2; 1,8; 2,4 (МДж) и т.д. Существующие ОПН предельного 5-го класса энергоемкости для защиты оборудования с рабочим напряжением 500 кВ допускают поглощение энергии приблизительно равной 4,3 МДж (удельная допустимая поглощаемая энергия около 10 кДж/кВ), в то время как максимально требуемое значение из рассмотренного диапазона параметров линий может достигать ~5...5,5 МДж. В случаях, когда предельное значение

расчетной энергии может быть превышено, мощность управляемого ШР должна существенно (предельно) повышаться, или на параллельную работу должен включаться второй ШР (также защищенный ОПН, что резко снижает энергетическую нагрузку на защитные аппараты). Если мощность ШР достаточна для перекомпенсации фазной емкости линии и на линии установлен хотя бы один УШР, то, несомненно, применение управляемого ОАПВ максимально снизит переходную компоненту в процессе включения линии и энергетические нагрузки на защитные аппараты.

Следует, однако, заметить, что энергоемкость защитного аппарата свыше 5-го класса может потребоваться только для протяженных ВЛ (более 600-650 км), обладающих повышенной натуральной мощностью. На линиях малой длины традиционного исполнения (т.е. с большим волновым сопротивлением) могут даже использоваться ОПН третьего класса энергоемкости (~2 МДж). В виду значительного разнообразия сочетаний параметров источников (примыкающих систем), линий, схем и устройств компенсации реактивной (зарядной) мощности ВЛ реальные требования к энергоемкости защитных аппаратов, несомненно, могут отличаться от интегральной оценки приведенной выше.

1. О технической реализуемости управляемого ОАПВ «

Достигнутые на настоящее время динамические характеристики управляемых реакторов позволяют решать задачи управления процессами в цикле ОАПВ; характеристики некоторых разработок достаточно близки к требуемым параметрам.

При применении в качестве компенсационных реакторов - управляемых реакторов трансформаторного типа (УРТТ) [155] время перехода реактора на требуемый режим мощности определяется, в основном, временем обработки информации системой управления, которое составляет лишь 10 мс, что говорит о вполне приемлемом быстродействии реактора. Недостатком реактора данного типа, используемого в качестве нулевого, является повышенное напряжение на нейтрали ШР в моменты времени, соответствующие закрытому состоянию тиристорных ключей (т.е. когда отсутствует ток в обмотке управления (ОУ)).