

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071800 – «Электроэнергетика»

Акаев Айбек Муратбекович

ПОСТРОЕНИЕ ЗАЩИТЫ СИНХРОННОГО КОМПЕНСАТОРА ОТ ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ

Предложенная диссертационная работа посвящена построению защиты синхронного компенсатора от витковых замыканий.

Актуальность работы. Синхронные компенсаторы (СК) в электроэнергетике широко используют в качестве регулятора реактивной мощности. Их использование позволяет поддерживать нормальный уровень напряжения в районах сосредоточения потребительских нагрузок там, где синхронные двигатели достаточной мощности отсутствуют, а использование статических компенсаторов экономически или технологически невыгодно. В результате устойчивость работы энергосистемы и качество электроэнергии у потребителей возрастают.

Из мировой практики эксплуатации СК известно, что на витковые замыкания (ВЗ) в их обмотках статора и ротора приходится до 20-25% и 8-10% от всех повреждений СК в зависимости от мощности и условий эксплуатации.

В области релейной защиты синхронных машин значительный вклад внесли Глебов И.А., Корогодский В.И., Кужеков С.А., Гимоян Г.Г., Андреев В.А., Данилевич Я.Б. Новожилов А.Н., Федосеев А.М., Ванин В.Н. и многие другие. Однако работу в этой области нельзя считать завершенной по следующим причинам.

Токовые защиты, традиционно используемые в СК для защиты обмотки статора от коротких замыканий, обладают низкой чувствительностью к ВЗ в обмотке статора. Поэтому они отключают поврежденный СК не в момент возникновения ВЗ, а тогда, когда размеры повреждения достигнут нескольких секций.

Более чувствительны к ВЗ защиты обмоток статора на встраиваемых измерительных преобразователях. Однако иногда некоторые из них могут реагировать и при ВЗ в обмотке ротора. В связи с тем, что ВЗ в обмотке статора требует быстрого отключения СК, а ВЗ в обмотке ротора СК практически без последствий можно отключать со значительной выдержкой времени работа этих защит не отвечает требованию селективности.

Витковые замыкания в обмотке ротора СК обычно возникают за счет замыкания расположенных рядом витков или в результате возникновения двойного замыкания обмотки ротора на землю. Если мощный СК, аналогично синхронному генератору, оборудован защитой типа КЗР-3 от замыкания на землю, то для защиты от замыкания обмотки ротора во второй точке используют переносной комплекс защиты КЗР-2. В тоже время защиты

от ВЗ обмотке ротора на СК не устанавливаются. Это, видимо, вызвано тем, что отсутствуют работы, позволяющие разработать селективную и чувствительную защиту.

Таким образом, работа по построению селективной и чувствительной защиты синхронного компенсатора от витковых замыканий является актуальной.

Целью работы является построение селективной и чувствительной защиты синхронного компенсатора от ВЗ в обмотках статора и ротора.

Для достижения цели были поставлены и решены следующие задачи:

- исследовать вопросы особенностей конструкции, типов возбуждения, моделирования эксплуатационных и аномальных режимов работы синхронных компенсаторов, режимов их работы при витковых замыканиях в обмотках статора и ротора, а также защиты от этих видов повреждений;

- разработать методы моделирования токов в обмотках статора и ротора синхронного компенсатора в эксплуатационных режимах работы, при витковом замыкании в обмотках статора и ротора, а также при пуске и трехфазном коротком замыкании на выводах СК;

- разработать метод моделирование магнитного поля рассеяния обмоток ротора и статора в торцевой зоне СК, с целью определения формы, места размещения и параметров измерительных преобразователей внутри СК;

- разработать конструкции измерительных преобразователей и рекомендации по их размещению и креплению внутри СК;

- предложить способ и устройство селективной и чувствительной защиты обмотки ротора СК от витковых замыканий в обмотке ротора с использованием одного точечного измерительного преобразователя;

- предложить способ и устройство селективной и чувствительной защиты СК от витковых замыканий в обмотках статора и ротора с использованием двух С – образных измерительных преобразователей.

Объектом исследования – является область релейной защиты, посвященная разработке и исследованию новых селективных и чувствительных защит от витковых замыканий в обмотках статора и ротора СК. Это позволит устанавливать такие защиты там, где неселективная работа защиты способна привести к значительным материальным и техническим потерям.

Предмет исследования – процессы, протекающие в СК в эксплуатационных режимах работы и при витковых замыканиях в обмотке статора и ротора, а также выявления информационных признаков этих повреждений и разработка селективной и чувствительной защиты синхронного компенсатора от витковых замыканий.

Научная новизна работы определяется тем, что:

1. Исследованы недостатки традиционных устройств защиты обмоток статора и ротора, установлены возможность монтажа в торцевой зоне измерительных преобразователей и методы определения их параметров, а также выяснены причины неселективной работы известных устройств защит на встроенных измерительных преобразователях и способы их устранения;

2. Предложены математические модели синхронного компенсатора для моделирования его работы во всех эксплуатационных режимах, при витковом замыкании в обмотках статора и ротора, а также при трехфазном коротком замыкании на выводах СК;

3. Предложена математическая модель для моделирования магнитного поля рассеяния обмоток ротора и статора в торцевой зоне синхронного компенсатора;

4. Разработана методика определения формы, места расположения в СК и параметров встраиваемых измерительных преобразователей;

5. Разработан способ защиты обмотки ротора СК от витковых замыканий, основанный на измерении постоянной составляющей ЭДС одного точечного измерительного преобразователя;

6. Разработан способ защиты обмотки статора и ротора СК от витковых замыканий, основанный на измерении времени следования импульсов напряжения ЭДС С - образных измерительных преобразователей.

Практическая ценность работы заключается в том, что:

1. Анализ традиционных устройств защиты обмоток статора и ротора СК, а также защит на встроенных измерительных преобразователях позволил определить направление исследований, которое позволит разработать новые селективные и чувствительные защиты синхронного компенсатора от витковых замыканий;

2. Предложенные математические модели синхронного компенсатора позволяют моделировать токи в обмотках статора и ротора во всех эксплуатационных режимах, при витковом замыкании в обмотках статора и ротора, а также при трехфазном коротком замыкании на выводах СК с погрешностью, не превышающей 5-20%, чего вполне достаточно для разработки устройств релейной защиты;

3. Предложенная математическая модель позволяет моделировать магнитные поля рассеяния обмоток ротора и статора в торцевой зоне синхронного компенсатора с точностью достаточной для обеспечения надежного определения параметров встраиваемых измерительных преобразователей;

4. Разработанная методика определения параметров встраиваемых измерительных преобразователей дает возможность с достаточной точностью определять их форму, место расположения в СК и параметры необходимые для построения устройства защиты СК от витковых замыканий в обмотках статора и ротора;

5. Устройство защиты обмотки ротора СК от витковых замыканий, работа которого основана на измерении постоянной составляющей ЭДС одного точечного измерительного преобразователя, является селективным и обладает высокой чувствительностью к витковым замыканиям;

6. Устройство защиты обмоток статора и ротора СК от витковых замыканий, работа которого основана на измерении времени следования импульсов напряжения ЭДС двух С - образных измерительных преобразователей, является селективным и обладает высокой

чувствительностью к витковым замыканиям как в обмотке статора, так и в обмотке ротора;

7. Разработанный на базе синхронного компенсатора и персонального компьютера с программным обеспечением «Елена-2012» экспериментальный комплекс и методика по его использованию позволяют надежно и с высокой точностью проводить экспериментальные исследования, которые необходимы для проверки теоретических положений работы и экспериментального исследования разработанных устройств релейной защиты синхронного компенсатора.

Результатами работы являются методы моделирования токов в обмотках статора и ротора синхронного компенсатора в эксплуатационных режимах работы, при витковом замыкании в обмотках статора и ротора, а также при пуске и трехфазном коротком замыкании на выводах СК, метод моделирование магнитного поля рассеяния обмоток ротора и статора в торцевой зоне СК, конструкции измерительных преобразователей и рекомендации по их размещению и креплению внутри СК, способ и устройство селективной и чувствительной защиты обмотки ротора СК от витковых замыканий в обмотке ротора с использованием одного точечного измерительного преобразователя, способ и устройство селективной и чувствительной защиты СК от витковых замыканий в обмотках статора и ротора с использованием двух C – образных измерительных преобразователей.

Основное содержание работы.

Во введении обоснованы актуальность, цель работы и способы достижения этой цели. Отражена ее научная новизна и практическая ценность. Указаны методы исследования и положения, выносимые на защиту. Приведена апробация результатов исследования. Сделан вывод о необходимости построения защиты синхронного компенсатора от витковых замыканий

В первой главе рассмотрены вопросы особенностей конструкции синхронного компенсатора, типы его возбуждения, эксплуатационные и аномальные режимы работы, а также работа синхронного компенсатора при витковых замыканиях в обмотках статора и ротора. Кроме того, сделан анализ защит от витковых замыканий обмоток статора и ротора.

Выяснено, что конструктивно СК представляют собой СД с ротором без демпферной обмотки и валом облегченной конструкции, а наибольших значений токи в обмотках статора и ротора достигают при трехфазном коротком замыкании на выводах, пуске и гашении магнитного поля ротора. Показано, что основными причинами возникновения ВЗ в обмотках статора СК является замыкание двух элементарных проводников и однофазное замыкание на корпус. Сделан анализ известных технических решений по защите обмоток статора и ротора. Выяснено, что чувствительных и селективных защит СК от виткового замыкания в обмотках статора и ротора нет, а решить проблему чувствительности можно только путем измерения изменения магнитного поля лобового рассеяния с помощью новых типов

индукционных измерительных преобразователей.

Во второй главе разработаны математические модели СК для моделирования эксплуатационных и аномальных режимов работы, а также работы СК при витковых замыканиях в обмотках статора и ротора, при пуске и коротком замыкании на выводах.

В результате моделирования работы СК в этих режимах установлено, что предложенные математические модели позволяют моделировать токи в обмотке статора с погрешностью, не превышающей 5-10%. При этом адекватность математической модели определялась по времени пуска $t_{\text{пуск}}$ до фиксированного значения скольжения ротора s_f , а также по отношению величин токов статора в начале и конце пуска. При этом различие между результатами моделирования и экспериментов не превысило 15÷20%. Установлено, что при моделировании трехфазного короткого замыкания интервал интегрирования Δt рекомендуется принимать равным 0,001-0,006с, а ток в статорной и пусковой обмотках определять как сумма периодической и аperiodической составляющих токов. При этом различие между результатами моделирования и экспериментов не превысило 10÷15%.

В третьей главе рассмотрен метод моделирования магнитных полей в торцевой зоне СК, а затем осуществлено моделирование магнитного поля рассеяния одного витка обмотки статора и полюса ротора с током равным единице. Затем по известному расположению секций статора и полюсов ротора, а также токам в них моделируется их магнитное поле во всех перечисленных режимах. Затем, на основе анализа этих магнитных полей разработана конструкция и крепление нового измерительного С – образного преобразователя несомненным достоинством которого является то, что его ЭДС в любом режиме при отсутствии замыкания в обмотках статора и ротора всегда равны нулю. Этот усовершенствованный метод моделирование магнитного поля рассеяния обмоток ротора и статора в торцевой зоне позволил разработать методику определения параметров этого преобразователя, а затем на этой базе разработать способы и устройства селективной и чувствительной защиты от витковых замыканий в обмотках статора и ротора.

Сведения о публикациях. По работе опубликовано 9 печатных труда, в том числе: один из них статья в журнале, входящем в базу данных компании Scopus, три - в журналах рекомендуемых Комитетом по контролю и аттестации в сфере образования и науки МОН РК, 4 публикаций в материалах международных конференций, в том числе 2 в материалах зарубежных конференций, а также получен один инновационный патент Республики Казахстан.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения и 2 приложения. Работа изложена на 99 страницах, включает 48 рисунков и 10 таблиц. Список использованных источников включает 87 наименований.