

ОТЗЫВ

**официального оппонента
на диссертационную работу Кривецкого Игоря Владимировича
«Разработка рациональных способов секционирования
сверхпроводящих токоограничивающих устройств»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических
наук по специальности 05.09.01 «Электромеханика и электрические
аппараты»**

Актуальность темы диссертации

Развитие электроэнергетических систем характеризуется устойчивым ростом электрических нагрузок, увеличением генерирующих мощностей, усилением связей с соседними энергетическими системами и созданием крупных объединённых систем. Неизбежным следствием такого развития является рост токов короткого замыкания (КЗ), особенно остро проявляющийся в регионах с высокой плотностью энергопотребления, а также в мегаполисах.

Увеличение токов КЗ, сопровождается увеличением электродинамических и тепловых воздействий на оборудование, приводит к росту количества повреждений обмоток генераторов, синхронных компенсаторов, трансформаторов, реакторов и т.д. Сверхнормативные токи КЗ могут повреждать выключатели, обеспечивающие локализацию и ликвидацию аварийных ситуаций в системе, что приводит к увеличению масштабов последствий КЗ.

Проблема ограничения токов КЗ является весьма актуальной. Решением этой проблемы занимаются практически все крупные электротехнические компании, международные научные организации, научно-исследовательские центры и вузы во многих странах, в том числе и в России.

Появление новых технологий и материалов, связанных с преобразовательной техникой и явлением сверхпроводимости, быстрый прогресс в элементной базе силовой электроники и высокотемпературных сверхпроводниковых (ВТСП) материалах дают возможность создания токоограничивающих устройств нового поколения, обладающих свойствами,

которые позволяют открыть дорогу к широкому применению этих устройств в электроэнергетике.

В настоящее время стоимость любого сверхпроводникового (СП) устройства на 50-80% состоит из стоимости СП материала, используемого в нём, поэтому встаёт вопрос о максимально эффективном его использовании. Для этого в работе разрабатывается методика секционирования различных конструкций СП токоограничивающих устройств.

На основании изложенного следует, что тема диссертационной работы, посвященной разработке рациональных способов секционирования (в том числе новых) СП токоограничителей является актуальной и востребованной.

Диссертация Кривецкого И. В. состоит из введения, четырёх глав, заключения и приложений. Она содержит 150 страниц печатного текста, 45 рисунков, 6 таблиц, а также список литературы.

Во введении обоснована актуальность и практическая направленность, сформулированы цели и задачи диссертационной работы, а также направления в решении задачи повышения эффективности использования сверхпроводникового материала в токоограничителях.

В первой главе представлен обзор существующих типов ограничителей токов различных конструкций.

Возможность использования сверхпроводников в качестве активных элементов устройств, предназначенных для распределения и управления потоком электрической энергии, улучшения режима энергосистем, ограничения токов короткого замыкания, позволяет по-новому подойти к решению этой проблемы.

В связи с высокой стоимостью сверхпроводниковых материалов, большое значение при разработке устройств на их основе приобретает выбор и расчет оптимальной конструкции, обеспечивающей наименьший расход сверхпроводника. Список параметров, которые необходимо варьировать с целью такой оптимизации, достаточно широк (геометрические размеры и форма изделия, величина магнитного поля, картина распределения поля и тока и т.д.), и зависит от вида проектируемого устройства. При этом, обеспечение условия равномерного распределения тока в сверхпроводнике, то есть, оптимизация в соответствии с зависимостью $j_c=f(B)$ представляется целесообразным практически для любого изделия.

Во второй главе диссертации детально рассматриваются СП токоограничители резистивного типа.

Принципиально важной особенностью сверхпроводникового ограничителя тока (СОТ), является свойство перехода СП элемента из сверхпроводникового состояния в нормальное, в случае превышения критического значения тока. Это позволяет создать надежное токоограничивающее устройство, не имеющее каких-либо дополнительных внешних управляющих систем. Ограничение тока достигается за счет сопротивления обмотки СОТ, возникающего при её переходе в нормальное состояние.

Для обеспечения достаточной степени токоограничения, резистивный СОТ должен иметь относительно большое активное сопротивление в нормальном состоянии. Поэтому стоимость резистивного СОТ на 70-80% определяется необходимым количеством ВТСП материала.

Путем секционирования обмотки СОТ можно значительно уменьшить расход СП материала, тем самым сократив габаритные размеры токоограничителя, а также добиться заметного снижения гистерезисных потерь в сверхпроводнике.

В данной главе приведена методика расчета характеристик сверхпроводниковых токоограничивающих устройств резистивного типа, и методика расчёта гистерезисных потерь для различных конструкций сверхпроводниковых резистивных токоограничителей.

В третьей главе исследованы СП токоограничители индуктивного типа, приводится анализ различных схем и конструкций токоограничивающих устройств этого типа.

Приведена разработанная автором методика расчета токоограничивающих устройств трансформаторного и автотрансформаторного типа. Показано, что наиболее удачной является автотрансформаторная схема с чередующимися обмотками.

При использовании СП материалов в обмотках токоограничивающего устройства индуктивного типа значительно снижается его масса (более чем в 30 раз за счет увеличения плотности тока в проводнике), а также уменьшаются электрические потери (более чем в 7 раз).

В четвертой главе рассмотрены сверхпроводниковые вставки постоянного тока, как ограничители сверхнормативных токов КЗ.

Существует принципиальная возможность ограничить токи КЗ путём использования вставки постоянного тока между линиями электропередачи переменного тока. При этом необходимо учитывать, что передача больших токов при относительно малых рабочих напряжениях требует новых решений, при которых внешние габариты будут максимально сокращены, внешние поля экранированы практически до нуля, а электрические потери — значительно снижены. Все эти эффекты достигаются путём применения методики секционирования, описанной в главе 4.

В целом, диссертационная работа Игоря Владимировича Кривецкого произвела положительное впечатление. Результаты работы широко использовались при работе над двумя грантами РФФИ в ОИВТ РАН, о чём есть соответствующие Акты внедрения. Также отмечено, что некоторые материалы диссертационной работы используются в учебном процессе НИУ МЭИ.

Наиболее существенные научные результаты, полученные соискателем.

1. Методика секционирования высокотемпературных сверхпроводниковых (ВТСП) резистивных токоограничителей.

2. Методики расчетов геометрических размеров, а также гистерезисных потерь для секционированных резистивных сверхпроводниковых токоограничивающих устройств.

3. Конструкции секционированных обмоток сверхпроводниковых токоограничивающих устройств индуктивного типа.

4. Обоснована возможность использования короткой сверхпроводниковой кабельной линии постоянного тока, как токоограничивающего элемента. Разработана методика секционирования кабеля постоянного тока (для использования его в кабельной линии постоянного тока), позволяющая значительно повысить эффективность использования сверхпроводящего материала в нём, а также снизить гистерезисные потери.

К недостаткам диссертационной работы можно отнести следующее:

1. Нет привязки констант α и γ в модели критического состояния СП к конкретным ВТСП проводам.
2. Автор переоценил возможную экономию расхода СП материала (в работе указано «до 1000%»), как минимум, на порядок.
3. При описании конструкций ВТСП токоограничителей различных типов не отмечается, какой именно ВТСП материал использовался.
4. В основных выводах по работе в п. 14 сказано, что «ряд предложенных моделей признаны изобретением...», однако, в списке публикаций приведены только патенты на полезные модели.
5. Часто встречающиеся орфографические и лексические ошибки в рукописи и автореферате диссертации.

Следует отметить, что отмеченные недостатки не снижают научный уровень и практическую ценность работы.

Заключение

Диссертация Игоря Владимировича Кривецкого является законченной исследовательской работой и оформлена в соответствии с принятыми требованиями.

Работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, содержит практически значимые результаты, которые могут быть использованы при разработке устройств для эффективного ограничения токов короткого замыкания и обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей. Не вызывает сомнения, что полученные автором результаты, важны для решения проблемы создания нового типа электротехнического оборудования — сверхпроводникового ограничителя тока.

Представленный материал соответствует специальности 05.09.01 — «Электромеханика и электрические аппараты».

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа «Разработка рациональных способов секционирования сверхпроводящих токоограничивающих устройств», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Кривецкий Игорь Владимирович, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент:

кандидат технических наук,
доцент кафедры
«Электроэнергетические, электромеханические
и биотехнические системы» МАИ НИУ



Дежин Д.С.

Подпись Дежина Д.С. заверяю
Учёный секретарь совета Д.212.125.07
кандидат технических наук, доцент



Степанов В.С.