

функции многих дискретно изменяющихся переменных к исследованию на экстремум функции  $Z = f(S_k)$  при учете множества ограничений по различным параметрам дискретной шкалы мощностей электрооборудования, шкале номинальных напряжений, нормируемым показателям качества электрической энергии, допустимым потерям мощности и энергии, уровню перенапряжений, максимальной мощности КЗ и т. д.

Оптимальное значение расчетного тока КЗ в сетях промышленных предприятий должно определяться в основном с учетом двух факторов:

1) обеспечения возможности применения электрических аппаратов с более легкими параметрами и проводников возможно меньших сечений;

2) сохранения значений показателей качества электрической энергии в нормируемых пределах.

Координация токов КЗ достигается:

- стационарным или автоматическим делением сети;
- установкой токоограничивающих одноцепных и сдвоенных реакторов;
- применением различных токоограничивающих устройств;
- установкой коммутационных аппаратов повышенной стойкости к воздействию токов КЗ;
- разукрупнением трансформаторных подстанций по мощности трансформаторов и секций путем установки трансформаторов с расщепленными обмотками или сдвоенных реакторов;
- изменением режима нейтрали сети путем разземления части нейтралей трансформаторов, заземления нейтралей через резисторы, реакторы и токоограничивающие устройства;
- электрическим делением сети путем установки разделительных трансформаторов.

### Литература

1. Неклипаев, Б.Н. Координация и оптимизация уровней токов короткого замыкания в электрических системах. – М.: Энергия, 1978.
2. Винославский, В.Н., Пивняк, Г.Г., Рыбалко, А.Я. Переходные процессы в системах энергоснабжения. – М.: Энергоатомиздат, 2003.
3. Ульянов, С.А. Электромагнитные переходные процессы. – М.: Энергия, 1970.
4. Силюк, С.М., Свита, Л.Н. Электромагнитные переходные процессы: Учебное пособие для вузов. – Минск: УП «Технопринт», 2000.
5. Куликов, Ю.А. Переходные процессы в электрических системах: Учеб. пособие. – Новосибирск: НГТУ; М.: Мир, ООО «Издательство АСТ», 2003. – 283 с.

УДК 621.316.5

## СОВРЕМЕННАЯ ВАКУУМНАЯ КОММУТАЦИОННАЯ ТЕХНИКА

*Лапытько Д.В., Сурус И.А.*

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

Для передачи и распределения электрической энергии требуется оборудование особо высокого уровня надежности, способное выдерживать нагрузки в сотни тысяч вольт, в тысячи ампер. Прежде всего, это касается коммутационного оборудования – выключателей. Вплоть до конца 80-х годов использовались традиционные воздушные, масляные, электромагнитные выключатели, требующие дорогостоящего обслуживания, энергоемкие и пожаро- и взрывоопасные.

Очевидные преимущества вакуумных выключателей, такие, как высокая надежность, взрыво- и пожаробезопасность, экологическая чистота, минимальные эксплуатационные расходы, были всем известны, но внедрять вакуумную коммутационную аппаратуру не спешили.

В последние годы в области создания коммутационных аппаратов для электрических сетей напряжением 6–35 кВ стали доминирующими вакуумные выключатели.

Вакуум, как дугогасительная и изолирующая среда, благодаря своим замечательным свойствам позволяет создавать коммутационные аппараты в простейшем с конструктивной точки зрения виде. Резюмируя целый ряд преимуществ вакуумных выключателей перед традиционно применяемыми в средних классах напряжения масляными и электромагнитными выключателями, можно выделить основные:

- высокая надежность;
- низкие затраты на обслуживание.

Применение вакуумной техники особенно оправданно для работы с частыми коммутациями рабочих токов, например для коммутации реакторов, конденсаторных устройств компенсации реактивной мощности промышленных дуговых печей, где присутствуют не только частые коммутации, но и довольно большой коммутируемый ток. Для пусков и переключений электродвигателей мощностью от десятков до тысяч киловатт.

Многие повреждения, особенно в воздушных сетях, являются по природе временными. В таких обстоятельствах целесообразным видится быстрое отключение аварийного участка для прекращения дугового разряда с последующим восстановлением питания аварийного участка, на котором причина возникновения замыкания к этому моменту, как правило, исчезает. Вся операция занимает доли секунды.

Аппараты, предназначенные для таких целей, называют реклоузерами. Реклоузер представляет собой совокупность вакуумного коммутационного модуля со встроенной системой измерения токов и напряжения и шкафа управления с микропроцессорной системой релейной защиты и автоматики.

Реклоузер выполняет:

- оперативные переключения в распределительной сети (местная и дистанционная реконфигурация);
- автоматическое отключение поврежденного участка;
- автоматическое повторное включение линии;
- автоматическое выделение поврежденного участка;
- автоматическое восстановление питания на неповрежденных участках сети;
- автоматический сбор, обработку и передачу информации о параметрах режимов работы сети и состоянии собственных элементов.

Большинство современных промышленных реклоузеров являются вакуумными, поскольку они лучше всего соответствуют предъявленным требованиям к массогабаритным показателям, быстродействию и минимизации энергопотребления при выполнении операций.

Предельные параметры вакуумных выключателей, достигнутые в серийном производстве, составляют по номинальному току 4 000 А, по току отключения – 100 кА при 7,2 кВ и 31,5 кА при 35 кВ.

Таким образом, в последние годы усилия разработчиков направлены не на повышение основных параметров аппаратов, а на создание более экономичных конструкций и повышение их надежности. По первому направлению работа идет, в основном, по пути совершенствования конструкции и технологии изготовления вакуумных дугогасительных камер, стоимость которых является определяющим фактором стоимости вакуумного выключателя в целом. В области создания приводов традиционного типа (пру-

жинно-моторные, пружинно-рычажные) возможности с точки зрения снижения производственных затрат практически исчерпаны. Второе направление – повышение надежности вакуумных выключателей – в основном связано с повышением надежности их приводов, так как надежность камер при современной технологии производства практически безупречна. Однако при сохранении традиционного подхода к проектированию выключателя маловероятно ожидать существенного повышения надежности аппарата и снижения производственных издержек.

Принципиально отличным изделием на рынке вакуумных выключателей явился аппарат у которого в отличие от «классического» вакуумного выключателя с приводом, использующим механизм свободного расцепления, в основе построения привода выключателя ВВ/TEL-10 заложен принцип соосности электромагнитов каждой из фаз и соответствующей вакуумной камеры. В качестве механизма, удерживающего контакты выключателя в замкнутом состоянии, использован и впервые реализован применительно к высоковольтному коммутационному аппарату известный принцип «магнитной защелки». Оптимизация привода по критерию минимума потребляемой мощности в сочетании с конденсаторным принципом управления и малогабаритной вакуумной камерой позволило в конечном итоге создать аппарат, рекордный по своим массогабаритным показателям, коммутационному и механическому ресурсу и не требующий обслуживания в течение всего расчетного срока эксплуатации.

### Литература

1. Евдокунин, Г.А., Тилер, Г. Современная вакуумная коммутационная техника для сетей среднего напряжения (технические преимущества и эксплуатационные характеристики). – СПб.: Издательство Сизова М.П., 2000.
2. Электрическая часть станций и подстанций. Учебно-методическое пособие / Мазуркевич В.Н., Румянцев Ю.Г. и др. – Минск: БГПА, 1998.

УДК 621.31

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ НА МИНИ-ТЭЦ

*Дервоед В.А.*

Вычислительный эксперимент приобретает в последнее время все большую популярность для исследования и прогнозирования процессов и явлений самой различной физической природы во всех областях науки и техники. Этому способствует, с одной стороны, возрастающая сложность подлежащих изучению вопросов, трудность, а часто и невозможность их непосредственного экспериментального исследования; с другой – появление технических средств, в частности персональных ЭВМ (ПЭВМ), позволяющих реализовать достаточно полные математические модели, обеспечивающие получение достоверных результатов расчетным путем [1].

С развитием малой энергетики (когенерации) в Республике Беларуси и увеличением числа генераторов на таких объектах, как промышленные и сельскохозяйственные предприятия, больницы, массивы коттеджной застройки, поселки в сельской местности, котельные и другие предприятия ЖКХ становится актуальным вопрос об изучении работы генераторов относительно малой мощности параллельно с сетями энергосистемы, а также в автономном режиме.

Необходимость математического моделирования обусловлено тем, что, во-первых, время электромагнитных переходных процессов в маломощных генераторах (0,5–1 с) соизмеримо со временем срабатывания некоторых защит генератора и во-