

ношение резко возрастает после отключения повреждения. В режиме внешнего КЗ, при насыщении трансформаторов тока значение отношения гармоник может быть велико и приводить к срабатыванию блокировки, тем самым повышая надежность отстройки защиты от внешних КЗ.

Литература

1. Засыпкин, А.С. Релейная защита трансформаторов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 240 с.
2. Дьяков, А.Ф., Овчаренко, Н.И. Микропроцессорная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. – М.: Издательство МЭИ, 2000. – 199 с.
3. Гловацкий, В.Г., Пономарев, И.В. Современные средства релейной защиты и автоматики электросетей. – 3 электронная версия. – Киев: Энергомашвин, 2003. – 535 с.
4. Дифференциальное реле защиты трансформатора ТЗ5, версии 4.4. Руководство по использованию серии УР, GE. – 2005. – 130 с.
5. Дифференциальная защита 7UT612, версия 4.0. Руководство по эксплуатации. – Siemens, 2003. – 498 с.
6. Терминал защиты трансформатора RET 521*RU. Руководство по эксплуатации. – АВВ, 2004.
7. Микропроцессорное устройство основной защиты двухобмоточного трансформатора «Сириус-Т». Руководство по эксплуатации. – М.: ЗАО «РАДИУС Автоматика», 2005. – 68 с.

УДК 621.316.5

УРОВНИ ТОКОВ И МОЩНОСТИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЭНЕРГОУСТАНОВКАХ И СПОСОБЫ ИХ ОГРАНИЧЕНИЯ

Гоголинский О.Н., Агеенко Ю.Н.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент СИЛЮК С.М.

В процессе эксплуатации ЭЭС одной из основных причин нарушения нормального режима работы отдельных электроустановок и системы в целом являются возникающие КЗ, которые представляют собой всякое случайное или преднамеренное не предусмотренное нормальным режимом работы, электрическое соединение различных точек, не принадлежащих одной фазе, электроустановки между собой или землей.

Расчеты токов КЗ необходимы для следующих конечных целей:

- сопоставления оценки и выбора схем электрических соединений ЭЭС;
- выбора электрических аппаратов электроустановок по условиям термической и электродинамической стойкости;
- проектирования и настройки устройств релейной защиты и автоматики ЭЭС;
- определения влияния токов КЗ на линии связи;
- оценки устойчивости работы ЭЭС;
- разработки мероприятий по координации и оптимизации значений токов КЗ;
- проектирования заземляющих устройств;
- выбора разрядников;
- анализа аварий в электроустановках;
- проведения различных испытаний в ЭЭС.

К методам ограничения уровней токов КЗ относится:

- выбор структуры и схемы электрических соединений элементов ЭЭС;
- стационарное и автоматическое деление электрической сети;
- выбор режима ее эксплуатации;
- выбор схем коммутации;
- применение оборудования с повышенным электрическим сопротивлением;
- использование быстродействующих коммутационных аппаратов;

– изменение режима нейтрали элементов сети.

Снижение уровня мощности КЗ на выводах понижающих трансформаторов определяется выражениями:

– для двухобмоточных трансформаторов:

$$\frac{S''_{k2}}{S''_{k1}} = \frac{1}{1 + \frac{U_k S''_{k1}}{100 S_{\text{тр ном}}}}$$

– для трехобмоточных трансформаторов:

$$\frac{S''_{k2}}{S''_{k1}} = \frac{1}{1 + \frac{2U_{k \text{ в-н}} S''_{k1}}{100 S_{\text{тр ном}}}}$$

$$\frac{S''_{k3}}{S''_{k1}} = \frac{1}{1 + \frac{U_{k \text{ в-с}} S''_{k1}}{100 S_{\text{тр ном}}}}$$

Уровни токов КЗ в узлах нагрузки зависят от структуры ЭЭС, параметров ее сетей и состава электроприемников. При проектировании установление оптимального уровня токов КЗ в каждом узле ЭЭС предусматривает анализ более широкого ряда показателей, к которым относятся технические и стоимостные показатели выпускаемого промышленностью электрооборудования, проводников и токоограничивающих устройств, категория бесперебойности электроснабжения и его надежность, устойчивость двигательной нагрузки, работоспособность релейной защиты, качество напряжения у потребителей, пуск и самозапуск мощных электродвигателей, потеря мощности и энергии в сетях, ущерб от перерывов в электроснабжении.

Таким образом, при проектировании ЭЭС может ставиться технико-экономическая задача снижения уровней токов КЗ в конкретных узлах до оптимальных. Ее целевой функцией являются приведенные затраты

$$Z(S_k) = \sum (K_i P_i + K_{\Delta i} P_{\Delta i}) + C_{\Sigma} + Y_{\Sigma},$$

где K_i – основные капитальные вложения в электрооборудование ЭЭС (трансформаторы, РУ, электрические аппараты, ЛЭП);

$K_{\Delta i}$ – дополнительные вложения в специальное оборудование (надбавки за специальное использование трансформаторов и токоограничивающих коммутационных аппаратов; стоимость токоограничивающих и дугогасящих реакторов, различного вида токоограничивающих устройств, а также устройств, обеспечивающих нормированные значения показателей качества электрической энергии, пусковых устройств и средств АРВ мощных электродвигателей);

$P_i, P_{\Delta i}$ – суммарные коэффициенты отчислений от основных и дополнительных капитальных вложений в электрооборудование и его строительную часть;

C_{Σ} – суммарные эксплуатационные расходы по освоенному и специальному электрооборудованию и стоимость потерь электрической энергии;

Y_{Σ} – суммарный ущерб при снижении уровней мощностей КЗ от перерывов в электроснабжении, нарушений устойчивости двигательной нагрузки, снижения надежности электроснабжения и от ухудшения качества электрической энергии у потребителей.

Критерием оптимальных уровней мощности КЗ является минимум приведенных затрат. Для минимизации целевой функции приведенных затрат целесообразно использовать метод дискретной оптимизации. Последний позволяет перейти от оптимизации

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.