

## **ОБЩИЙ АНАЛИЗ И ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ОГРАНИЧЕНИЯ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

*В данной статье рассматриваются вопросы токов короткого замыкания в системах электроснабжения, основные определения, причины возникновения и методы ограничения токов короткого замыкания.*

*Ключевые слова: ток, короткое замыкание, электроснабжения, фаза, провод.*

### **GENERAL ANALYSIS AND BASIC METHODS OF LIMITING SHORT-CIRCUIT CURRENTS IN POWER SYSTEMS**

*This article discusses short-circuit currents in power supply systems, basic definitions, causes and methods of limiting short-circuit currents.*

*Keywords: current, short circuit, power supply, phases wire.*

Короткими замыканиями (КЗ) называют замыкания между фазами, замыкания фаз на землю или нулевым проводом в сетях с глухо - и эффективно-заземленными нейтралью, а также витковые замыкания в электрических машинах.

Короткие замыкания возникают при нарушении изоляции электрических цепей. Причины таких нарушений различны: старение и вследствие этого пробой изоляции, набросы на провода линий электропередачи, обрывы проводов с падением на землю, механические повреждения изоляции кабельных линий при земляных работах, удары молнии в линии электропередачи и др.

В сетях различного напряжения электроэнергетических систем уровень токов короткого замыкания (КЗ) в той или иной степени непрерывно возрастает. При этом требования к электрическим аппаратам, проводникам, силовым трансформаторам и конструкциям распределительных устройств становятся все более жесткими.

Максимально допустимый уровень токов КЗ в сетях различного напряжения - важная технико-экономическая характеристика энергосистем. Требования к коммутационному оборудованию должны учитывать стратегию развития энергосистем, электростанций и сетей, возможности промышленности разработать и поставить в установленные сроки оборудование с нужными параметрами, надежность работы электростанций, подстанций, узлов нагрузки и систем в целом, затраты на создание сети с тем или иным максимальным уровнем токов КЗ.

Координация уровней токов КЗ имеет определенную организационную иерархию и решается в рамках более общей задачи оптимизации структуры, параметров и режимов работы энергосистем и их элементов на всех стадиях их управления: от прогнозирования и планирования до проектирования и эксплуатации. Так, согласование уровней токов КЗ с параметрами оборудования рассматривается в схемах развития отрасли, а затем объединенных и региональных энергосистем раз в 5 лет на перспективу 10-15 лет и, кроме того, в технико-экономических обоснованиях к сооружению объектов электроэнергетики. Следовательно, здесь необходим учет значительной неопределенности исходной информации, большого количества трудноформализуемых и противоречивых функциональных связей.

Анализ фактического материала показывает, что проблема токов КЗ в энергосистемах была и остается актуальной. Токи существенно возросли, что вынуждает менять установленное электрооборудование или принимать срочные меры по их ограничению.

Несмотря на значительное число работ, посвященных проблемам вычисления токов короткого замыкания, вопросы оценки этих токов и связанные с ними проблемы выбора параметров электрической сети и защитной аппаратуры рассмотрены не в полной мере. Кроме того, большинство работ касается расчета тока короткого замыкания в промышленных сетях. То есть сельские электрические сети не являются объектом пристального внимания авторов соответствующих научных разработок.

В настоящее время действующими "Руководящими указаниями по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования" [1] рекомендуется учитывать тепловой спад тока короткого замыкания при нагреве им токоведущих частей. Однако исследования влияния учета нагрева для сельских электрических сетей не проводились, а между тем сельские электрические сети имеют ряд особенностей, которые в целом влияют на величину тока короткого замыкания.

Таким образом, уровень тока КЗ, повышающийся в процессе развития современной электроэнергетики, имеет в своем росте ряд ограничений, которые необходимо учитывать. Конечно, аппаратуру и электрические сети можно усилить в соответствии с новым уровнем токов КЗ, перс вести на более высокое напряжение, однако это в ряде случаев приводит к таким экономическим и техническим трудностям, что себя не оправдывает.

Наиболее распространенными и действенными способами ограничения токов КЗ являются: секционирование электрических сетей; установка токоограничивающих реакторов; широкое использование трансформаторов с расщепленными обмотками низшего напряжения.

Первый способ является эффективным средством, которое позволяет уменьшить уровни токов КЗ в реальных электрических сетях в 1,5 – 2 раза. Пример секционирования электроустановки с целью ограничения токов КЗ показан на рис. 1.

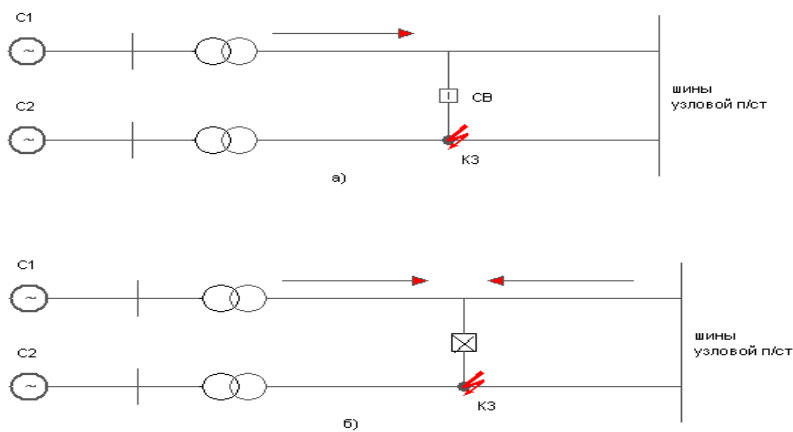


Рис. 1. Распределение токов КЗ:

а—секционный выключатель включен; б—секционный выключатель отключен

Когда выключатель КВ включен, ток КЗ от генераторов G1 и G2 проходит непосредственно к месту повреждения и ограничен лишь сопротивлением генераторов и трансформаторов соответствующих энергоблоков.

Если выключатель КВ отключен, в цепь КЗ дополнительно включается сопротивление линий. Ток КЗ от генераторов G1 и G2 при этом резко снижается по сравнению с предыдущим случаем.

Вместо секционирования образуется так называемая точка деления сети. В мощной энергосистеме с большими токами КЗ таких точек может быть несколько.

Секционирование электрической сети обычно влечет за собой увеличение потерь электроэнергии в линиях электропередачи и трансформаторах в нормальном режиме работы, так как распределение потоков мощности при этом может быть неоптимальным. По этой причине решение о секционировании должно приниматься после специального технико-экономического обоснования.

В распределительных электрических сетях 10 кВ и ниже широко применяется раздельная работа секций шин, питающихся от различных трансформаторов подстанции (рис.2).

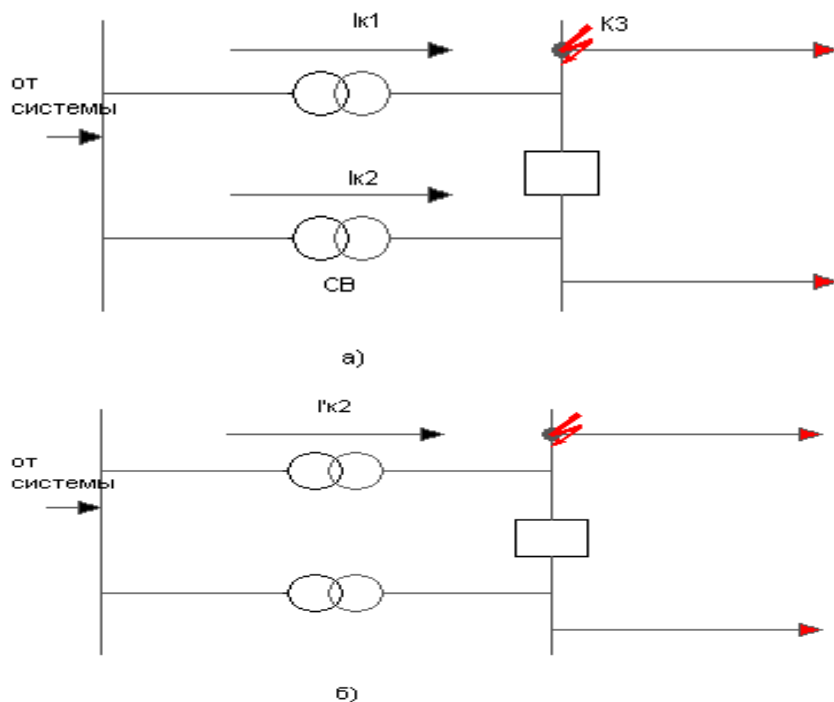


Рис.2. Совместная (а) и раздельная (б) работа трансформаторов на подстанции

Основной причиной, определяющей такой режим работы, является требование снижения токов КЗ, хотя и в этом случае отказ от непосредственной параллельной работы трансформаторов имеет свои отрицательные последствия: разные уровни напряжения по секциям, неравномерная загрузка трансформаторов и т. п. При мощности понижающего трансформатора 25 МВА и выше применяют расщепление обмотки низшего напряжения на две, что позволяет увеличить сопротивление такого трансформатора в режиме КЗ примерно в 2 раза по сравнению с трансформатором без расщепления обмотки.

Кроме того к специальным техническим средствам ограничения токов КЗ в первую очередь относятся токоограничивающие реакторы.

Реакторы служат для ограничения токов КЗ в мощных электроустановках, а также позволяют поддерживать на шинах определенный уровень напряжения при повреждениях за реакторами.

Основная область применения реакторов — электрические сети напряжением 6—10 кВ. Иногда токоограничивающие реакторы используются в установках 35 кВ и выше, а также при напряжении ниже 1000 В.

Реактор представляет собой индуктивную катушку, не имеющую сердечника из магнитного материала. Благодаря этому он обладает постоянным индуктивным сопротивлением, не зависящим от протекающего тока.

Для мощных и ответственных линий может применяться индивидуальное реактирование (рис.3,а). Когда через реактор питается группа линий (например, в системе собственных нужд), его называют групповым (рис.3,б).

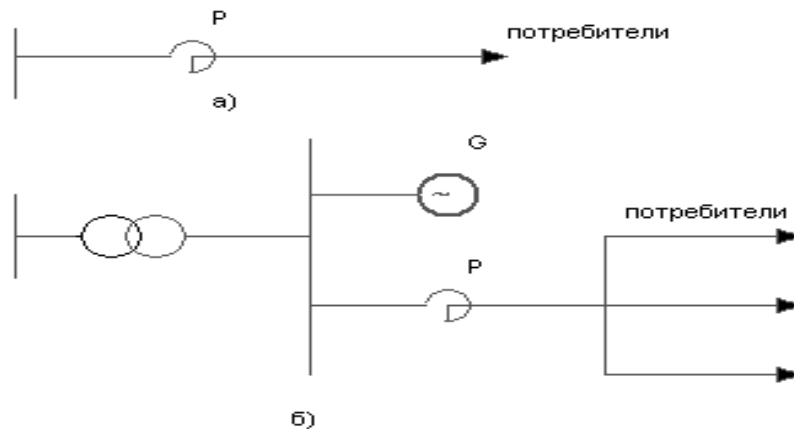


Рис. 3. Схемы включения реакторов: а – индивидуальное реактирование; б – групповой реактор.

### Заклучение

Анализ показывает, что токи короткого замыкания в системах электроснабжения остается очень актуальной проблемой.

В связи с этим применяемые методы ограничения токов короткого замыкания являются эффективным средством, что уменьшает уровень токов короткого замыкания в электрических сетях 1,5 – 2 раза.

### Литература:

1. Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К., Чиркова Т.В., «Электрооборудование электрических станций и подстанций», 5-е издание, М.: 2008.
2. Лихачев В.Л. Электротехника. Справочник. Том 1./В.Л. Лихачев. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003.
3. Аржанников Е.А., Чухин А.М. Методы и приборы определения мест повреждения на линиях электропередачи. М.: НТФ «Энергопрогресс», 1998. – 64 с. Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик»; Вып. 3