

**Четвертая Всероссийская Научно-техническая конференция
"ОГРАНИЧЕНИЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ. РЕЖИМЫ ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ.
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СЕТЕЙ 6-35 кВ"**

Багаев Д.В., ведущий инженер УЭРЭО ОАО «ВоТГК»

**ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫСОКООМНЫХ РЕЗИСТОРОВ
В СЕТЯХ 6-35 кВ ОАО «Волжская ТГК» г. Саратов**

Перенапряжения являются причиной повреждения оборудования сетей 3-6-10-35 кВ

В сетях 6-35 кВ одной из причин повреждения изоляции электрооборудования и линий являются перенапряжения. Значительную долю которых составляют внутренние перенапряжения. Такие перенапряжения опасны не только своей длительностью, кратностью, но и шириной охвата сети, то есть одновременным воздействием на несколько изоляционных конструкций.

Данные перенапряжения могут вызывать разрушения изоляции либо способствовать накоплению и развитию в ней дефектов. Опасность воздействия перенапряжений зависит от уровня изоляции тех или иных элементов оборудования сети. Особенно частыми, имеющими большую длительность и охватывающими всю сеть являются коммутационные перенапряжения, обусловленные однофазными дуговыми замыканиями на землю (ОДЗ).

Одним из основных факторов, влияющих на уровни перенапряжений, является режим заземления нейтрали сети.

Сети 3-6-10-35 кВ, эксплуатируемые в Российской Федерации

Сети 3-6-10-35 кВ, эксплуатируемые в Российской Федерации, традиционно имеют изолированную нейтраль или нейтраль, заземленную через дугогасящий реактор (ДГР).

Для таких сетей характерен целый ряд недостатков:

- высокие уровни дуговых перенапряжений при однофазных замыканиях на «землю», наиболее опасных для оборудования и особенно для высоковольтных электродвигателей;
- неселективность существующих защит для определения места замыкания на «землю» при настроенных в «резонанс» ДГР, что ведет к необходимости поочередных отключений фидеров и как следствие к расстройке компенсации, и дальнейшей эскалации перенапряжений;
- перегрев и повреждение ОПН при длительных замыканиях на «землю», а также при резонансных явлениях наблюдаемых в этих сетях.

В настоящее время для повышения надежности сетей 3-6-10-35 кВ в ряде энергосистем, а также в газовой и нефтяной промышленности России, началось применение резистивного заземления нейтрали при помощи «высокоомного» либо «низкоомного» резистора. Применение резистивного заземления стало возможным, в том числе и благодаря новым редакциям ПУЭ и ПТЭ. Седьмая редакция ПУЭ (п.п. 1.2.16, 4.2.166), ПТЭ – 2003 года п.п. 5.11.8. Необходимо отметить, что в сетях СН атомных электростанций резистивное заземление нейтрали осуществляется с 1988 г. в соответствии с ЦИРКУЛЯРОМ Ц-01-88 от 23.09.1988

Решение НТС РАО «ЕЭС России»

Решением НТС РАО «ЕЭС России» (Протокол № 15 заседания Научно-технического совета ОАО «Инженерный Центр ЕЭС»), прошедшего 10 марта 2004 года, была отмечена актуальность резистивного заземления нейтрали в сетях 6-10-35 кВ и дано поручение соответствующим организациям разработать Национальный стандарт в соответствии с новым Законом РФ «О техническом регулировании». При этом, опираясь на опыт эксплуатации резистивного заземления в различных энергосистемах и в ОАО «ГАЗПРОМ». Следует отметить, что институтом «ВНИИГАЗ» разработан ведомственный руководящий документ для ОАО «ГАЗПРОМ»: «Методические указания по выбору режима заземления нейтралей в сетях напряжением 6-10 кВ предприятий ОАО «ГАЗПРОМ».

Применение резистивного заземления для уменьшения уровней перенапряжений в сети СН 6 кВ Энгельсской ТЭЦ-3 (в настоящее время филиал ОАО «Волжская ТГК»)

Уровень повреждаемости электротехнического оборудования на тепловых электростанциях, учитывая условия эксплуатации оборудования, достаточно высок. С годами происходит неуклонное снижение электрической прочности изоляции кабелей, оборудования распределительных устройств и высоковольтных электродвигателей. При возникновении однофазных дуговых замыканий действующие в сети дуговые перенапряжения приводят к одновременному выходу из строя несколько единиц оборудования. Наиболее слабым звеном в этой цепи являются электродвигатели уровень изоляции которых ниже, чем у другого оборудования.

Для исключения таких аварийных ситуаций на Энгельсской ТЭЦ-3 в 1999 году техническим советом Саратовской энергосистемы было принято решение о целесообразности применения высокоомного резисторного заземления для нейтрали сети собственных нужд (СН) 6 кВ.

Выбор резисторов для сети 6 кВ СН Энгельсской ТЭЦ-3

Проведя предварительный анализ схемы и выполнив расчеты уровней перенапряжений с использованием программы «МАЭС» для различных режимов работы сети, специалистами Саратовской энергосистемы и «ПНП БОЛИД» было предложено, установить на каждой секции по два резистора. По одному резистору в нейтраль трансформаторов ТСН 6/0.4 со стороны 6 кВ, номиналом $R = 1,7 \text{ кОм}$, рис.1. Такое решение предполагало снизить уровни перенапряжений в сети 6 кВ СН при возникновении ОДЗ и наладить работу токовой защиты от замыкания на "землю". Уровень перенапряжений при ОДЗ в соответствии с поставленной задачей должен был быть ограничен величиной $2,5U_{ф}$, а ток замыкания на «землю» должен быть достаточной величины для срабатывания простой токовой защиты. Два резистора на каждой секции, подключенные к нейтрали разных трансформаторов, обеспечивают более высокую гибкость схемы и сохраняют при этом необходимый уровень ограничения перенапряжений при ОДЗ. Резисторы были приобретены, установлены и введены в эксплуатацию с учетом местных условий в КРУСН 6 кВ (рис.2). Подключались резисторы к нейтралям ТСН 6/0.4 через разъединители.

Эффективность применения резистивного заземления в сети 6 кВ СН Энгельсской

Эффективность применения резистивного заземления нейтрали была подтверждена экспериментально. Натурные испытания и измерения в сети 6 кВ СН Энгельсской ТЭЦ-3. проводились в 2002 году. Для измерения перенапряжений при искусственном ОДЗ была выделена с установленным оборудованием секция 7р (рис.1). Секция 7р при проведении эксперимента питалась от отдельного трансформатора (ТСН-24). Регистрация перенапряжений при ОДЗ на секции 7р проводилась с изолированной нейтралью, нейтралью заземленной через один резистор и нейтралью заземленной через два резистора. Данные эксперимента приведены в Таблице 1. Величина емкостного тока замыкания на «землю» секции 7р на момент измерений составила 2.53 А .

Схема подключения измерительной аппаратуры в сети 6 кВ СН Энгельсской ТЭЦ-3

К шинам СН 6 кВ секции 7р подключалась измерительная аппаратура, включающая в себя емкостные делители напряжения, цифровой измерительный осциллограф и специальный искровой промежуток для создания ОДЗ. Схема подключения приведена на рис. 3.

При испытаниях использовался двухканальный осциллограф, поэтому одновременно регистрировались напряжения только в двух фазах. Для регистрации максимальных перенапряжений при дуговых замыканиях делители напряжения устанавливались в фазах «А» и «С». Т.е. перенапряжения измерялись на «здоровых» фазах «А» и «С». Зазор искрового промежутка выбирался таким образом, чтобы пробой промежутка происходил вблизи максимума фазного напряжения. ИП устанавливался в фазу «В».

В ходе эксперимента зафиксированы процессы с повторными пробоями промежутка и погасанием дуги, подобными дуговому замыканию с перемежающейся дугой.

Величины зарегистрированных перенапряжений и их кратности при ОДЗ

Таблица 1

Режим нейтрали сети 6 кВ СН КРУСН-6кВ секции 7р при проведении эксперимента	Максимальная величина перенапряжений, зарегистрированных при ОДЗ (амплитудное знач.), кВ	Кратность перенапряжений, зарегистрированных при ОДЗ, о.е.	Кратность перенапряжений по расчетам переходных процессов на ПЭВМ, о.е.
Изолированная	14.37	2.9	3.0
Заземлена через 1 резистор P3-1700-10-6 R=1,7 кОм,	10.62	2.3	2.3
Заземлена через 2 резистора P3-1700-10-6 R=0,85 кОм,	10.0	2.04	2.2

Распространение опыта эксплуатации резистивного заземления нейтрали

Учитывая положительные результаты экспериментов проведенных в сети СН 6 кВ Энгельсской ТЭЦ-3, а также 4-х летний опыт эксплуатации, в 2004 году работы по внедрению резистивного заземления нейтралей решено было продолжить. Всего с 1999 по 2005 годы в Саратовской энергосистеме было установлено 26 резистивных установок в распределительных устройствах трех тепловых электростанциях Таблица 2. Причем высокоомные резисторы установлены не только в сети с изолированной нейтралью, но и в сети с компенсированной нейтралью, параллельно дугогасящим реакторам ДГР.

Реализация резистивного заземления нейтрали в сетях 3-6-10-35 кВ Саратовской энергосистемы

Таблица 2

Тип Резистора	Характеристики резистора				Место установки	Год устано вки	Режим нейтрали сети до установки резисторов
	U ном, кВ	P ном, кВт	R ном, Ом	Кол- во			
P3-1700-10-6 Рис. 2	6	10	1700	12	Энгельсская ТЭЦ-3 (сеть СН 6 кВ)	1999	Изолирован
P3-4000-102-35 Рис. 4	35	102	4000	8	Саратовская ГРЭС (кабельная сеть 35 кВ)	2003	Компенсир
P3-800-15-6 Рис. 5	6	15	800	3	Саратовская ТЭЦ-2 (сеть ГРУ-6 кВ+сеть СН 6 кВ)	2004	Компенсир
P3-2000-6-6 Рис. 5.1	6	6	2000	2	Саратовская ТЭЦ-2 (сеть СН 6 кВ)	2004	Изолирован
P3-3000-12-10 Рис. 6	10	12	3000	1	Саратовская ГРЭС (Блок № 3)	2005	Изолирован

Анализ работы сетей с резистивным заземлением нейтрали

После проведения анализа работы сетей СН тепловых электростанций с резистивным заземлением нейтрали Таблица 3 были получены следующие результаты:

- Энгельсская ТЭЦ-3 – до установки резисторов, в сети СН 6 кВ, в среднем ежегодно повреждалось до 1 высоковольтного электродвигателя в год, после установки резисторов повреждения электродвигателей двигателей прекратились;

- Саратовская ТЭЦ-2 – до установки резисторов, в сети СН 6 кВ работающей параллельно с сетью ГРУ-6 кВ, в среднем ежегодно повреждалось до 2 высоковольтных электродвигателей в год, после установки резисторов в повреждения двигателей прекратились.

Количество Электродвигателей 6 кВ повредившихся в работе на Саратовской ТЭЦ-2 и Энгельсской ТЭЦ-3 за период с 1994 по 2005

Таблица 3

Филиалы ОАО «ВоТГК»	Кол-во ЭД 6 кВ находящихся в эксплуатации	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	ИТОГО:
Саратовская ТЭЦ-2	110	2		1		6	2	2	3	4	1			21
Энгельсская ТЭЦ-3	65	3		1	1		1							6

Выводы:

1. Расчеты, проводимые на ПВЭМ с помощью соответствующего программного обеспечения, позволяют с достаточно высокой точностью определять уровни перенапряжений в сети до, и после установки резисторов и соответственно правильно подбирать номиналы резисторов. Результаты измерений перенапряжений и результаты расчетов переходных процессов при ОДЗ совпадают, что подтверждает правильность методологических подходов.

2. Кратности зарегистрированных перенапряжений при проведении натурных испытаний показывают, значительное уменьшение уровней перенапряжений в сетях СН электростанций. Высокоомное резистивное заземление позволяет эффективно ограничивать перенапряжения при ОДЗ до безопасного уровня для изоляции электрических машин.

3. Применение резисторов в сети СН позволяет значительно облегчить работу ОПН, установленных на секциях шин для защиты от коммутационных перенапряжений.

4. Применение резистивного заземления позволяет экономить средства, которые могли быть потрачены на ремонт и приобретение высоковольтных электродвигателей.

5. После установки резисторов в сети 6 кВ СН появилась возможность сделать простую и селективную защиту от замыканий на «землю», в том числе и в сетях с компенсацией емкостных токов замыкания на «землю» при настроенных в «резонанс» ДГР. В зависимости от технологического процесса работу такой защиты можно настроить на отключение или сигнал.