

## **ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПЕРВИЧНЫХ ОБМОТКАХ ТН ПРИ ОДНОФАЗНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ В СЕТИ 110 КВ С КАБЕЛЬНЫМИ ВСТАВКАМИ**

*Сарин Л. И., Хлопова А. Ю. (ООО «ПНП Болид», г. Новосибирск)*

В распределительных сетях высокого напряжения практический диапазон изменения длин кабельных вставок составляет от сотен метров до единиц километров. В крупных городах-мегаполисах при высокой плотности застройки встречаются схемы использования протяженных воздушных линий и кабелей длиной 5-15 км напряжением 110 кВ и выше. Одним из наиболее вероятных аварийных режимов в таких сетях является режим однофазного короткого замыкания на землю (ОКЗ). При разземлении части нейтралей силовых трансформаторов на промежуточных и конечных подстанциях 110/10 кВ и наличии в схеме трансформаторов напряжения электромагнитного типа, коммутации при устранении ОКЗ с последующим АПВ могут вести к тяжелым повреждениям ТН. Из-за насыщения сердечника ТН возникает бросок тока в первичных обмотках, что приводит к их быстрому повреждению. Величина броска тока может существенно превышать допустимые по термической стойкости для обмоток ТН значения, оцениваемые от 0,2 А до 0,5 А.

Подобное развитие аварий уже имеет место в ряде энергосистем, например, на подстанции «Нагорная» Екатеринбургской Электросетевой Компании. Отключение однофазного короткого замыкания на линии в сети 110 кВ с кабельной вставкой длиной 1 км привело к взрыву и возгоранию трансформатора напряжения электромагнитного типа НКФ.

С целью определения причин таких аварий и разработки их предотвращения, исследованы переходные процессы в обмотках ТН типа НКФ при однофазных коротких замыканиях в сетях 110 кВ с ВЛ и СПЭ-кабелем с помощью математической модели трехфазной сети на базе программного комплекса VMAES.

### ***Краткая характеристика особенностей эксплуатации сетей 110 кВ***

Электрические сети 110 кВ, имеющие глухо- или эффективно заземленные нейтрали трансформаторов, относятся к сетям с большими токами замыкания на землю. Заземляют при этом, как правило, не все нейтрали обмоток силовых трансформаторов, а только их часть. При заземлении нейтралей силовых трансформаторов учитывают возможность ограничения токов КЗ и требования в части обеспечения чувствительности и селективности релейной защиты.

В сетях 110 кВ и выше повреждения ТН зачастую связаны с возникновением феррорезонансных явлений. Причины возникновения феррорезонансных явлений в сети 110 кВ отличаются от таковых в сетях 6-35 кВ. К возникновению феррорезонанса в сети 110 кВ могут приводить:

- отключение холостых ошинок многоразрывными выключателями, в которых используются выравнивающие емкости;
- неполнофазные режимы, при которых на поврежденной фазе наводится напряжение за счет емкости связи с другими фазами;
- увеличение емкости в сети относительно земли (например, вследствие замены участка ВЛ на высоковольтные кабельные вставки).

### Моделирование участка сети 110 кВ, включающего кабельную вставку и ТН.

Целью исследований в данной сети 110 кВ является изучение переходных процессов при отключении ОКЗ и анализ влияния режима заземления нейтрали силового трансформатора на уровень токов в первичных обмотках ТН типа НКФ при сопоставлении схем с воздушной линией и ВЛ с кабельной вставкой из сшитого полиэтилена.

На *рис. 1* приведена принципиальная однолинейная схема сети 110 кВ, в которой один из силовых трансформаторов имеет изолированную нейтраль. За расчетный режим принят режим отключения однофазного короткого замыкания, возникающего в конце линии.

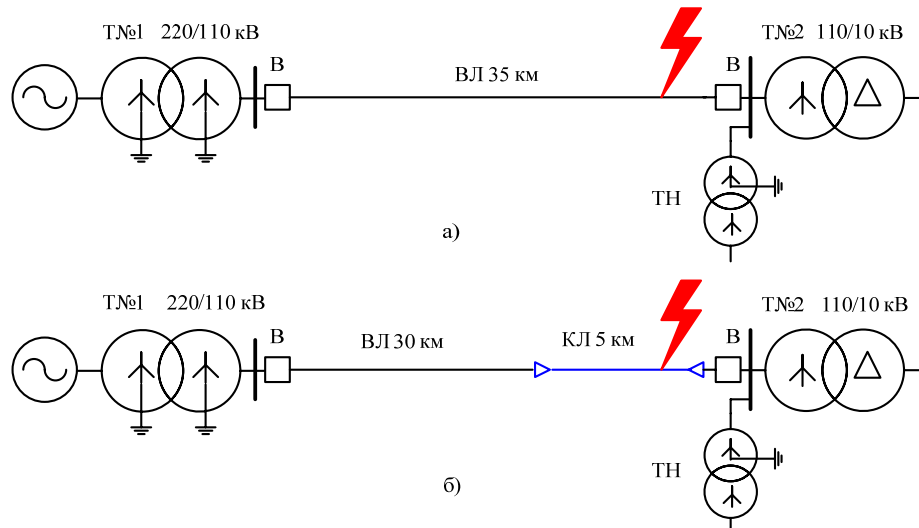


Рис. 1 Принципиальная однолинейная схема сети 110 кВ

Анализ токов на высокой стороне ТН при ОКЗ в сети 110 кВ проводился с использованием программы VMAES, предназначенной для расчета электромагнитных переходных процессов в электроэнергетических схемах. Из элементов библиотеки VMAES была собрана расчетная схема (*рис. 2.*)

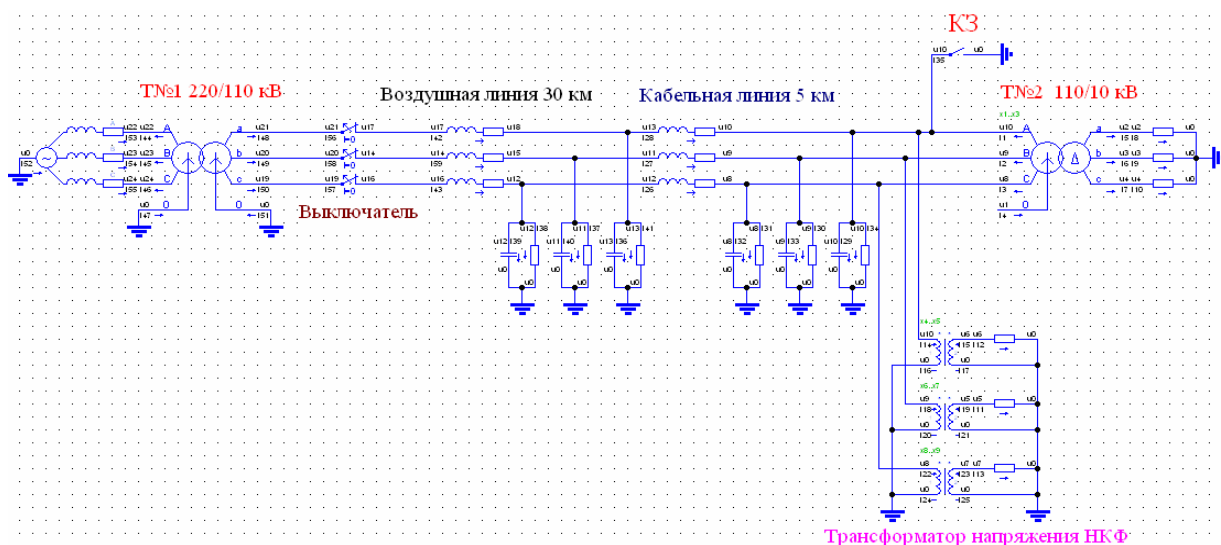


Рис. 2 Эквивалентная расчетная схема сети 110 кВ с ВЛ и КЛ

С точки зрения обеспечения надежной эксплуатации оборудования, изменение значений емкостных и индуктивных параметров сети при замене ВЛ на КЛ могут в

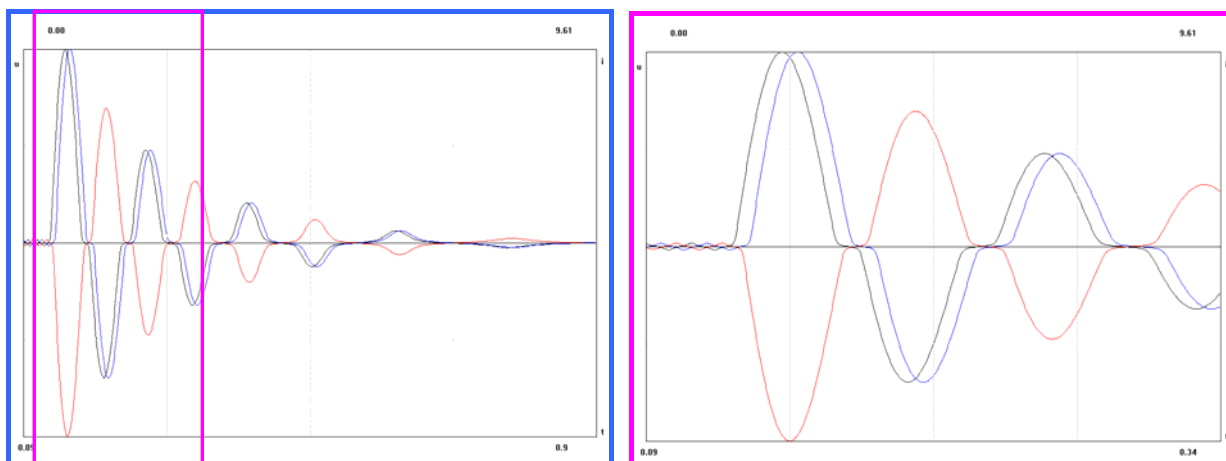
определенных обстоятельствах (в номинальном режиме работы, при перегрузках, коротком замыкании и т.д.) спровоцировать возникновение феррорезонансного явления ТН.

Анализ причин повреждения ТН показал, что наиболее опасным режимом для этого оборудования является длительное протекание по первичной обмотке ТН токов, величина которых значительно превышает величину токов, максимально допустимых по условию сохранения термической стойкости обмоток.

### ***Исследование процессов при ОКЗ в сети 110 кВ при разных режимах заземления нейтрали трансформатора.***

Рассматриваются переходные процессы при ОКЗ в конце линии для эквивалентной схемы сети, приведенной на *рис. 2*. Можно показать, что в нормальном режиме в первичных обмотках трансформатора напряжения протекают токи практически синусоидальной формы, содержащие характерные гармоники. После отключения ОКЗ возникает бросок тока, переходной процесс носит затухающий колебательный характер с частотой колебаний 14 Гц. (*рис.3*)

На приведенных осциллограммах: время в секундах, значение тока в амперах.



*Рис. 3 Токи в первичных обмотках ТН после ликвидации ОКЗ (силовой трансформатор Т№2 разгружен).*

Результаты сопоставления амплитуд токов в первичных обмотках ТН типа НКФ в сети 110 кВ с воздушной линией и в сети 110 кВ с ВЛ и кабельной вставкой из сшитого полиэтилена в зависимости от мощности нагрузки силового трансформатора 100/10 кВ приведены на *рис.4*. Из диаграммы видно, что в сети 110 кВ с изолированной нейтралью при использовании СПЭ-кабеля длиной 5 км возникают опасные для первичной обмотки ТН токи как в режиме нагрузки на номинальную мощность трансформатора Т№2, так и в режиме, близком к холостому ходу.

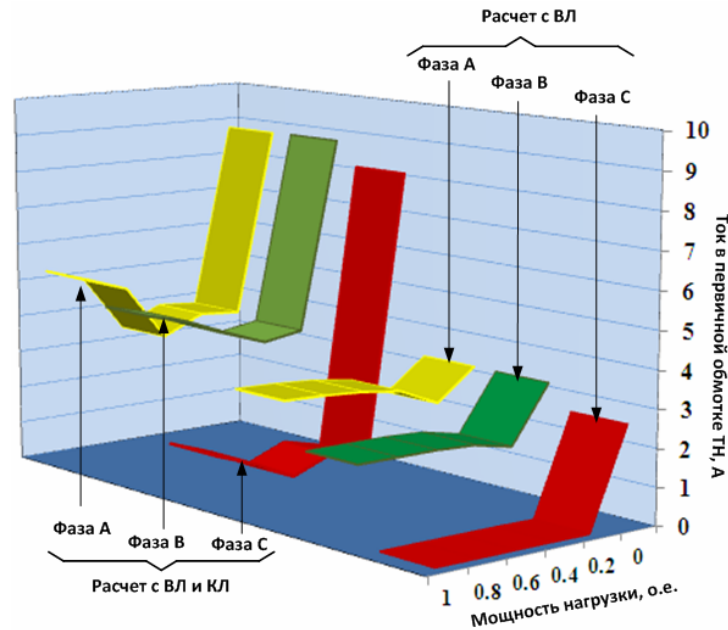


Рис. 4 Уровень токов в первичной обмотке ТН в зависимости от мощности нагрузки

Очевидно, при замене участков ВЛ на СПЭ-кабели угроза повреждения ТН в режиме однофазного КЗ возникает как раз за счет увеличения емкости сети, поскольку емкость кабельной линии в несколько раз больше емкости воздушной.

Повреждения обмоток высокого напряжения трансформатора напряжения типа НКФ можно избежать с помощью частичного заземления нейтрали через высоковольтные низкоомные резисторы.

На рис.5 приведены результаты расчетов переходных процессов при частичном заземлении нейтрали сети 110 кВ в наиболее опасных для ТН режимах (режим нагрузки на номинальную мощность трансформатора и режим холостого хода)

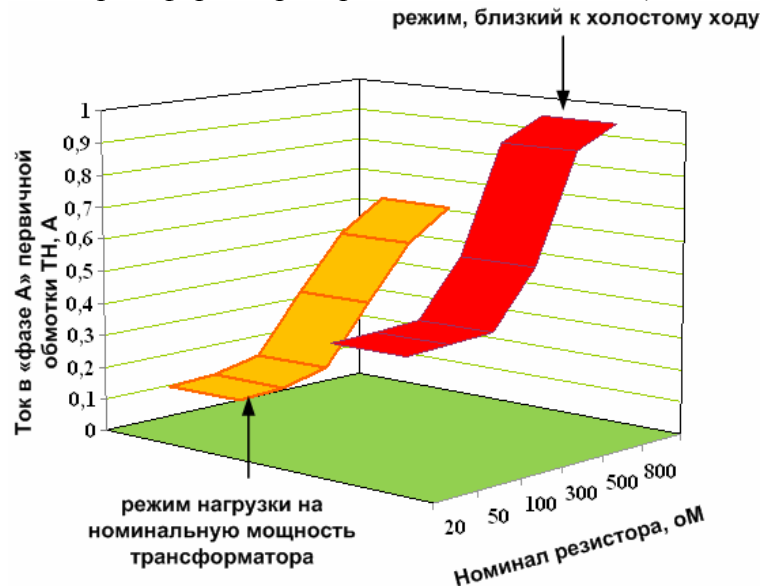


Рис. 5 Уровень токов в первичной обмотке ТН при заземлении нейтрали сети 110 кВ через резистор разного номинала

Установка высоковольтного резистора номиналом 20 Ом в нейтраль силового трансформатора подстанции в сети 110 кВ (модель на рис.2) позволяет подавить феррорезонансные явления, возникающие после устранения ОКЗ. Характер изменения токов на высокой стороне ТН типа НКФ становится аperiодический. Опасных по величине

бросков тока в первичных обмотках ТН не выявлено. (рис.6) Амплитуда броска тока в первичной обмотке ТН снижается до значения, неопасного по условию термической стойкости, примерно за 0,08 с (четыре периода 50 Гц)

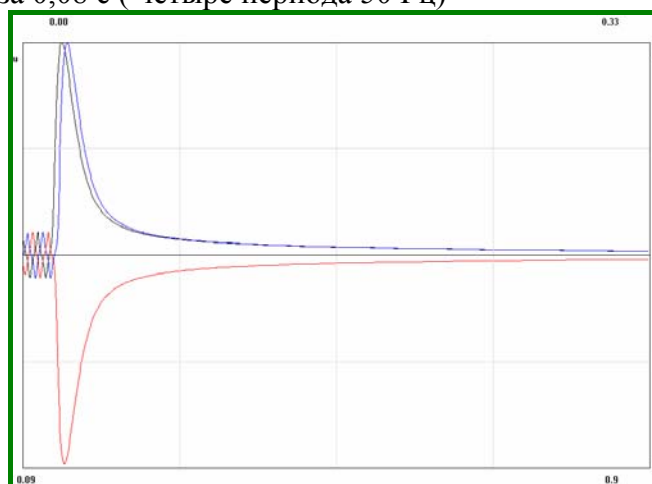


Рис.5 Токи в первичных обмотках ТН.

Нейтраль ТН№2 заземлена через резистор номиналом 20 Ом (ТН№2 разгружен).

Уровень токов на высокой стороне ТН снижается в 5-7 раз после частичного заземления нейтрали сети 110 кВ через низкоомное сопротивление. Такой уровень токов в режиме отключения однофазного короткого замыкания является неопасным для обмоток трансформатора напряжения типа НКФ, т.к. не превышает значения 0,2-0,5 А, которые определяются условиями термической стойкости обмоток ТН.

Анализ аварийных режимов, связанных с отключением ОКЗ в сети 110 кВ, свидетельствует о том, что для предотвращения повреждаемости оборудования необходимо перейти от изолированной нейтрали трансформатора 110/10 кВ к частично заземленной через высоковольтные резисторы номиналом 20-100 Ом, в зависимости от конфигурации сети (наличие ТН электромагнитного типа, кабельных вставок и т.д.).

### **Выводы**

1. При замене части ВЛ на СПЭ-кабельную вставку в сети 110 кВ амплитуда токов на высокой стороне ТН при отключении ОКЗ возрастает в несколько раз, что может привести к повреждению ТН и, как следствие, нарушению устойчивого функционирования системы электроснабжения потребителей.

2. Избежать повреждения ТН можно путем включения высоковольтных резисторов номиналом 20-100 Ом в нейтрали силовых трансформаторов промежуточных и конечных подстанций в сети 110 кВ.

### **Список использованных источников**

1. Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них / К. П. Кадомская, Ю.А, Лавров, А.А. Рейхердт, – Новосибирск, Изд-во НГТУ, 2004. – 368 с.
2. Справочник по релейной защите /Под общей ред. М.А.Берковича, М.-Л., ГЭИ, 1963, с.512
3. Качесов В.Е., Пятков А.В. Феррорезонансные перенапряжения при отключении ненагруженных шин подстанции 220 кВ с присоединенными трансформаторами напряжения типа НКФ /Сб.научн.трудов. Техника и электродинамика высоких напряжений. Новосибирск, НГТУ, 1993, с.45-53.