

УДК 621.316.91 (575.2) (04)

## ВЫБОР РЕЖИМА НЕЙТРАЛИ И ОГРАНИЧЕНИЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6–35 КВ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ КЫРГЫЗСТАНА

*Ю.П. Симаков, А.Н. Валькевич*

Проведен анализ данных о режимах нейтралей, применяемых в электрических сетях 6–35 кВ энергосистемы Кыргызстана, возникновения феррорезонансных и дуговых перенапряжений.

*Ключевые слова:* режим нейтрали; электрические сети 6–35 кВ; дуговые и феррорезонансные перенапряжения; ограничители перенапряжений; высокоомное активное сопротивление; дугогасящие катушки.

Режим нейтрали электрической сети высокого напряжения является важнейшим фактором, определяющим характер эксплуатации электрооборудования. От режима нейтрали в электрических сетях 6–35 кВ зависит уровень дуговых перенапряжений при однофазных замыканиях на землю и возможность возникновения феррорезонансных явлений.

В настоящее время в энергосистеме Кыргызстана используются следующие способы заземления нейтрали электрических сетей 6–35 кВ:

- изолированная (незаземленная);
- заземленная через дугогасящую катушку (ДГК) (компенсированная нейтраль);
- заземленная через высокоомный резистор.

Изолированный режим нейтрали является самым распространенным. Например, в электрических сетях 35 кВ Чуйского предприятия высоковольтных электрических сетей (ЧуПВЭС) из 36 центров питания 110/35/6–10 кВ в 12 используется компенсированный режим нейтрали 35 кВ, а в остальных 24 – режим изолированной нейтрали. Компенсированный режим нейтрали преимущественно используется в черте города Бишкек: из 11 центров питания 110/35/6–10 кВ в 10 установлены ДГК 35 кВ. За чертой города Бишкек из 25 центров в 2 установлены ДГК 35 кВ.

ДГК 6–10 кВ установлены в ЧуПВЭС в центрах питания 110/35/6–10 кВ и 110/6–10 кВ в черте города Бишкек, так как в городской зоне величина емкостного ОЗЗ в некоторых центрах питания превышает значения, при которых требуется компенсация емкостного тока. Из 17 центров питания 110/35/6–10 кВ и 110/10 кВ городской сети 6–10 кВ в 6 установлены ДГК. Во всех центрах питания 110/35/6–10 кВ и 110/10 кВ за чертой города Биш-

кек используется режим изолированной нейтрали 6–10 кВ.

Режим нейтрали, заземленной через высокоомное сопротивление в энергосистеме Кыргызстана, представлен на двух подстанциях ЧуПВЭС, где используются опытные образцы устройств высокоомного сопротивления 10 и 35 кВ.

Наибольшую опасность для электрооборудования 6–35 кВ при изолированном режиме нейтрали представляют перенапряжения, возникающие при дуговых однофазных замыканиях на землю, кратность перенапряжений при этом достигает уровня  $3-3,2 U_{\phi}$  максимального фазного напряжения. Заземление нейтрали сети через высокоомное активное сопротивление снижает возможные дуговые перенапряжения до уровня  $2,2 - 2,5 U_{\phi}$ .

В электрических сетях с компенсированной нейтралью защитное действие ДГК эффективно только при ее настройке в резонанс. Однако во многих центрах питания 110/35/6–10 и 110/10 кВ Кыргызстана сложилась ситуация, при которой имеет место значительная перекомпенсация или недокомпенсация емкостного тока в местах установки дугогасящих реакторов, причинами которой являются и отсутствие должного контроля за компенсацией емкостных токов в сетях 6–10 кВ и то, что многие установленные ДГК 35 кВ не соответствуют требованиям компенсации емкостного тока. При расстройке компенсации более 25 % кратность перенапряжений будет примерно такой же, как и в сетях с изолированной нейтралью.

Исследования [1, 3, 6–8] показали, что наличие высокоомного резистора, включенного параллельно ДГК, приводит к прекращению биений напряжения на фазах после гашения дуги, которые наблюдаются

в сетях с нейтралью, заземленной через ДГК и, следовательно, к прекращению пробоев в поврежденной фазе при пробивном напряжении  $U_{пр}$  ослабленного места больше фазного ( $U_{пр} > U_{ф}$ ). Применение высокоомного резистора весьма благоприятно сказывается на снижении воздействия повышенных напряжений на изоляцию неповрежденных фаз даже в случае значительной степени расстройки компенсации емкостных токов замыкания на землю.

При однофазных замыканиях на землю в сети с изолированной нейтралью могут создаваться благоприятные условия для возникновения феррорезонансных перенапряжений (ФРП), которые являются причиной многочисленных повреждений трансформаторов напряжения 6 – 35 кВ в энергосистеме Кыргызстана. Как показали исследования [2, 4, 5, 7–9], повышенная вероятность возникновения ФРП имеет место на тех подстанциях 110/35/6–10 кВ, где ток однофазного замыкания на землю в электрической сети 35 кВ не превышает 1,5 А. В центрах питания, у которых емкостные токи больше 1,5 А, но не превышают 2 А, вероятность появления феррорезонанса остается достаточно высокой.

Установлено, что из 25 центров питания 110/35/6–10 кВ сельских сетей 35 кВ (за чертой города Бишкека) в 23 (92 % от общего количества) имеет место повышенная вероятность возникновения ФРП. Из 12 центров питания 110/35/6–10 кВ городских сетей 35 кВ только в 3 (25 %) имеется повышенная вероятность возникновения феррорезонансных процессов.

В сельских сетях 6 – 10 кВ вследствие небольшой величины емкостного тока имеется повышенная вероятность появления ФРП. В городских сетях 6 – 10 кВ Чуйской области (черта города Бишкек) вследствие преобладания кабельных сетей наблюдаются значительные емкостные токи, которые выходят за пределы существования феррорезонансных явлений.

Наиболее эффективными мерами подавления ФРП являются применение высокоомных активных сопротивлений в нейтрали сети и замена существующих типов трансформаторов напряжения на антирезонансные трансформаторы напряжения типа НАМИ. Опыт эксплуатации сетей 6, 10 кВ ЧуПВЭС показал, что эффективной мерой защиты от феррорезонансных перенапряжений является реконструкция ТН с применением устройства контроля изоляции. В случае применения высокоомного активного сопротивления 35 кВ целесообразна его установка в центрах питания с высшим

напряжением 110 кВ, так как силовые трансформаторы в этих центрах имеют вывод нейтрали 35 кВ, что в свою очередь позволит защитить примыкающую к центру питания сеть. В результате исследований определено выражение для критического высокоомного сопротивления в нейтрали сети, при котором феррорезонансный процесс во всей примыкающей сети невозможен [2, 9].

Для координации изоляции по грозовым перенапряжениям в электрических сетях 6–35 кВ Кыргызстана эксплуатируются вентильные разрядники. В настоящее время большинство разрядников, находящихся в эксплуатации, выработало свой ресурс. Поэтому актуальным является вопрос их замены на современные аппараты – нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН). Феррорезонансные перенапряжения и длительные дуговые перенапряжения вследствие значительного числа воздействий могут сделать невозможным применение ОПН. С точки зрения ограничения дуговых перенапряжений применение конкретного типа ОПН ограничивается величиной емкостного тока и применением конкретного режима нейтрали.

На основании исследований [1–9] авторами данной статьи были разработаны рекомендации для предприятий энергосистемы Кыргызстана, которые стали основой введенных в действие стандартов ОАО “Национальная электрическая сеть Кыргызстана” “Выбор режима нейтрали 6 – 35 кВ” и “Инструкция по выбору ОПН 6 – 220 кВ”.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы.

В электрических сетях 6 – 35 кВ республики в основном используется изолированный и компенсированный режим нейтрали, при котором воздействия дуговых и феррорезонансных перенапряжений являются наиболее опасными, и ограничивается применение ОПН.

Причиной многочисленных повреждений трансформаторов напряжения 6 – 35 кВ являются феррорезонансные перенапряжения.

Заземление нейтрали сети, работающей с изолированной нейтралью, через высокоомное активное сопротивление обеспечивает надежную защиту от дуговых и феррорезонансных перенапряжений. Снижение перенапряжений в компенсированной сети может быть достигнуто также путем применения высокоомного резистора, включенного параллельно ДГК – комбинированный режим нейтрали.

Разработаны и введены в действие стандарты ОАО “Национальная электрическая сеть Кыргызстана”, “Выбор режима нейтрали 6 – 35 кВ” и

“Инструкция по выбору ОПН 6 – 220 кВ”. В этих стандартах решается задача оптимизации режима нейтрали электрических сетей 6–35 кВ Кыргызстана, разработаны мероприятия по защите электрооборудования от дуговых и феррорезонансных перенапряжений, даны рекомендации по применению ОПН 6–35 кВ.

#### *Литература*

1. *Симаков Ю.П., Валькевич А.Н.* Повышение надежности эксплуатации электрических сетей 6 – 35 кВ // Изв. вузов. Бишкек, 2008. № 5–6. С 30–32.
2. *Валькевич А.Н.* Феррорезонансные перенапряжения в электрических сетях 6–35 кВ Кыргызстана. Повреждения трансформаторов напряжения 6–35 кВ // Наука и новые технологии. 2009. № 3. С. 15–19.
3. *Валькевич А.Н.* Надежность работы электрических сетей 6–35 кВ. Проблема ограничения дуговых перенапряжений // Наука и новые технологии. 2009. № 3. С 209–213.
4. *Валькевич А.Н.* Защита сетей 6–35 кВ Кыргызстана от феррорезонансных перенапряжений. Величина активного сопротивления для заземления нейтрали сети 6–35 кВ // Изв. вузов. Бишкек, 2009. № 5. С 23–27.
5. *Валькевич А.Н.* Причины повреждаемости трансформаторов напряжения 35 кВ в электрических сетях Кыргызстана // ПОИСК. Серия естеств. и техн. наук. Алматы. 2000. № 4 (1). С. 236–240.
6. *Валькевич А.Н.* Параллельное соединение резистора и дугогасящего реактора в нейтрале сетей средних классов напряжения // Вестник КРСУ. 2009. Том 9. № 11. С 31–36.
7. *Симаков Ю.П., Мезгин В.А., Валькевич А.Н.* Ограничение дуговых и феррорезонансных перенапряжений при однофазных замыканиях на землю // Вестник КРСУ. 2009. Том 9. № 11. С. 141–145.
8. *Симаков Ю.П., Мезгин В.А. Валькевич А.Н.* Ограничение дуговых и феррорезонансных перенапряжений при однофазных замыканиях на землю // Сб. тр. пятой Всерос. научн.-технич. конф. 22–24 октября 2008 г. “ЭНЕРГЕТИКА: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов”. Благовещенск, 2008. С. 256–260.
9. *Симаков Ю.П., Валькевич А.Н.* Защита сетей 6–35 кВ Кыргызстана от феррорезонансных перенапряжений. Величина активного сопротивления для заземления нейтрали сети 6–35 кВ // Сб. тр. шестой Всерос. научн.-технич. конф. 25–27 мая 2011 г. “ЭНЕРГЕТИКА: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов”. Благовещенск, 2011. С. 468–471.