

Ф. П. ШКРАБЕЦ (Национальный горный университет Украины, Днепропетровск),
А. И. КОВАЛЕВ (ОАО «Южный ГОК», Кривой Рог)

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НЕЙТРАЛИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Розглянуто варіанти заземлення нейтралі електричних мереж і представлені рекомендації з підвищення рівня експлуатаційної надійності й електробезпечності розподільних мереж напругою 6 кВ на основі обмеження й придушення перехідних процесів при несиметричних ушкодженнях.

Рассмотрены варианты заземления нейтрали электрических сетей и представлены рекомендации по повышению уровня эксплуатационной надежности и электробезопасности распределительных сетей напряжением 6 кВ на основе ограничения и подавления переходных процессов при несимметричных повреждениях.

The variants of grounding the neutral wire of electric networks are considered and the recommendations are presented on increasing the level of operational reliability and electric safety of distribution networks with 6 kV voltage on the basis of limitation and suppression of transitional processes at asymmetrical damages.

Состояние нейтрали сети имеет непосредственное отношение к вероятности возникновения аварийного состояния, поскольку преобладающее число нарушений в сетях начинается с замыкания на землю. Эффективность любого вида режима работы нейтрали электрической сети определяется целесообразным технико-экономическим соответствием бесперебойности электроснабжения потребителей, величины капиталовложений и эксплуатационных расходов. При этом учитывается, что всякого рода аварийные отключения линий электропередачи и подстанций, как правило, приводят либо к полному обесточиванию потребителей, либо к ограничениям потребления электроэнергии. Перебои в электроснабжении наносят тем больший ущерб, чем выше энергоемкость потребителей и чем больше потребителей, у которых прекращение подачи электроэнергии недопустимо по условиям непрерывности технологического процесса. Повышение уровня надежности электроснабжения и распределительных сетей систем электроснабжения, улучшение условий электробезопасности зависит от успешного решения комплекса вопросов, среди которых важное место занимают вопросы оптимизации режимов работы нейтрали электрических сетей.

Целью работы является представить результаты исследований по повышению уровня эксплуатационной надежности и электробезопасности распределительных сетей напряжением 6 кВ за счет оптимизации режимов нейтрали.

Эффективностью компенсации емкостного тока замыкания на землю (компенсированная

нейтраль) называется способность дугогасящих аппаратов ограничивать токи через место повреждения, перенапряжения и скорости восстанавливающихся напряжений после гашения заземляющей дуги. Показателем эффективности компенсации является отношение количества замыканий на землю, не развившихся в короткие замыкания, к общему их количеству [1]

$$\mathcal{E}_k = 1 - n_{к.з} / n_{общ} \quad (1)$$

При сравнении показателей эффективности работы электрических сетей с различными способами заземления нейтрали, кроме удовлетворения требования по обеспечению надежности электроснабжения потребителей, серьезное внимание обращается на основные параметры сетей, влияющие на эксплуатационные характеристики систем электроснабжения, к которым можно отнести:

1. Уровни изоляции и защита от перенапряжений (устойчивость к перенапряжениям).
2. Селективность действия релейной защиты и простота ее выполнения.
3. Отключение коротких замыканий и возможность нарушения устойчивости параллельной работы (в мощных энергосистемах).
4. Влияние на линии связи, каналы телемеханики и средства промышленной автоматики.
5. Заземляющие устройства линий и подстанций и безопасность напряжений прикосновения и шаговых напряжений.

В отношении электрических сетей и оборудования напряжением 6 кВ, работающих с компенсацией емкостного тока замыкания на

землю, следует отметить, что при резонансных настройках или при незначительных расстройках компенсации в сетях запасы электрической прочности изоляции по отношению к воздействующим перенапряжениям увеличиваются до 30 %. Такие запасы обеспечивают высокую надежность работы систем электроснабжения.

Компенсация емкостного тока замыкания на землю является бесконтактным средством дугогашения. В сравнении с сетями, работающими с изолированной нейтралью, а также с сетями, работающими с эффективным и неэффективным заземлением нейтрали, сети с индуктивностью в нейтрали, настроенной в резонанс с емкостью сети относительно земли, обладают следующими выгодными для эксплуатации качествами:

- уменьшается ток через место повреждения до минимальных значений (в пределе до активных составляющих и высших гармоник);
- обеспечивается надежное дугогашение (предотвращается длительное воздействие заземляющей дуги);
- улучшаются условия безопасности при растекании аварийных токов в земле;
- облегчаются требования к заземляющим устройствам;
- ограничиваются перенапряжения, возникающие при дуговых замыканиях на землю, до значений 2,5...2,6 фазного напряжения сети (при степени расстройки до 5 %) – безопасных для изоляции оборудования и линий;
- значительно снижаются скорости восстановления напряжений на поврежденной фазе, что способствует восстановлению диэлектрических свойств места повреждения в сети после каждого погасания перемежающейся заземляющей дуги;
- предотвращаются набросы реактивной мощности на источники питания при дуговых замыканиях на землю, что способствует сохранению качества электроэнергии у потребителей (при резонансной настройке);
- резко уменьшается вероятность развития в сети феррорезонансных процессов (в частности, самопроизвольных смещений нейтрали).

Расстройка режима компенсации более чем на 5 % от резонансного приводит к резкому снижению эффективности в части кратности перенапряжений, развития феррорезонансных процессов и т.п. Кроме того следует отметить, что в случаях, когда используются неправильные схемы присоединения устройств компенсации емкостных токов (дугогасящих аппаратов) и допускаются неправильные оперативные

и автоматические действия, компенсация емкостных токов замыкания на землю не только утрачивает частично или полностью свою эффективность, но и становится причиной многоместных повреждений изоляции сети. Опасные для изоляции сети по уровню и длительно действующие феррорезонансные перенапряжения возникают в случаях, когда трансформатор с устройством компенсации емкостных токов оказывается подключенным к сети не всеми фазами.

Анализ результатов исследований влияния заземления нейтрали электрических сетей на надежность и условия электробезопасности систем электроснабжения в целом, на повреждаемость распределительных сетей и электрооборудования, а также на функциональные характеристики релейной защиты в частности, позволяет дать оценку каждому конкретному режиму работы нейтрали и представить рекомендации, направленные на усиление позитивных показателей соответствующих режимов.

Исследования показали, что самый низкий уровень эксплуатационной надежности соответствует сетям с полностью изолированной нейтралью, а также сетям с компенсированной нейтралью при расстройках компенсации на 20 % и более от резонансной. Это обусловлено высокой повреждаемостью элементов систем электроснабжения от действия внутренних перенапряжений и феррорезонансных явлений [3, 5].

Следует отметить, что наиболее высокая эксплуатационная надежность обеспечивается в распределительных сетях с наложением дополнительной активной составляющей на ток замыкания на землю (сети с резистором в нейтрали). В таких сетях при определенных условиях резко ограничиваются уровни внутренних перенапряжений, сопровождающих несимметричные повреждения, практически исключается развитие феррорезонансных процессов, что, соответственно, способствует уменьшению повреждаемости элементов сети. Кроме того, при этом практически исключается ложная работа устройств защиты от замыканий на землю за счет резкого подавления (практически устранения) переходных процессов при появлении и отключении повреждений.

По условиям обеспечения электробезопасности электрических сетей при непосредственном прикосновении человека к токоведущим частям ни один из возможных режимов нейтрали нельзя признать благоприятным. Независимо от режима нейтрали с учетом реальных па-

раметров изоляции относительно земли распределительных сетей и времени действия устройств защиты, а также времени действия применяемой в таких сетях коммутационной аппаратуры, значения тока через тело человека будут значительно превышать безопасные уровни. Следует, однако, отметить, что степень косвенной опасности электрической сети, например от действия напряжения прикосновения (при прикосновении человека к корпусам электрооборудования и машин, оказавшимся под напряжением вследствие повреждения изоляции одной из фаз), в значительной степени зависит от режима нейтрали. Для установившегося режима однофазного замыкания в этом случае предпочтение следует отдать электрическим сетям с компенсированной нейтралью при резонансной (или близкой к резонансной) настройке компенсирующего устройства. Если учитывать переходные процессы, сопровождающие металлические и дуговые однофазные замыкания на землю, то наиболее благоприятным следует считать электрическую сеть с резистором в нейтрали.

Учитывая изложенное, в сетях напряжением 6...10 кВ, работающих с полностью изолированной от земли нейтралью, предлагается режим работы с резистором в нейтрали, т.е. наложение в аварийном режиме на емкостный ток замыкания активной составляющей, значение которой выбирается из условия

$$I_a = (0,4 \div 1) I_c \quad \text{или} \quad R_a = (1 \div 2,5) \frac{1}{3\omega C}. \quad (2)$$

Для создания дополнительного искусственного активного тока замыкания на землю могут использоваться высоковольтные резисторы, включаемые между нейтральной точкой сети и землей. В этом случае высоковольтный резистор может включаться:

- в нейтраль силового трансформатора при включении его обмоток в звезду и выведенной нулевой точкой;
- в нейтраль первичной обмотки специального заземляющего трансформатора;
- между каждой фазой и землей трех сопротивлений, соединенных в звезду с искусственной нулевой точкой.

Кроме того, создание искусственного дополнительного активного тока однофазного замыкания на землю может быть обеспечено включением низковольтного резистора одним из следующих способов:

- в качестве нагрузочного резистора вторичной обмотки специального однофазного транс-

форматора, первичная обмотка которого включается между нейтральной точкой сети и землей;

- в качестве нагрузочного резистора, подключенного к вторичным обмоткам трех однофазных трансформаторов, включенных по схеме разомкнутого треугольника (первичные обмотки включаются при этом в звезду с заземленной нулевой точкой).

При превышении токов замыкания на землю регламентируемых ПУЭ значений устанавливаются дугогасящие реакторы, которые, как правило, не оборудованы устройствами автоматической настройки индуктивности в резонанс с емкостью сети. Кроме того, зачастую эксплуатационная динамика указанных сетей может превышать 20-процентное изменение параметров изоляции сетей относительно земли (например, карьерные сети). Для указанных сетей нами предлагаются следующие рекомендации по оптимизации заземления нейтрали.

1. Если в сетях напряжением 6...10 кВ значение емкостного тока однофазного замыкания на землю составляет значение до 10 А и они работают с нейтралью, полностью изолированной от земли, предлагается режим работы с резистором в нейтрали, т.е. наложение в аварийном режиме на емкостный ток замыкания активной составляющей, значение которой выбирается из условия (2). Такой режим обеспечивает подавление переходных процессов, улучшение работоспособности устройств защиты от замыканий на землю, исключает феррорезонансные явления, чем и достигается повышение уровня электробезопасности и надежности.

2. При емкостном токе однофазного замыкания на землю более 10 А предлагается использовать комбинированный режим работы нейтрали. Суть комбинированного режима заземления нейтрали состоит в том, что кроме создания индуктивной составляющей тока однофазного замыкания на землю, предлагается также одновременно накладывать на ток замыкания и активную составляющую.

Таким образом, комбинированный режим заземления нейтрали – это компенсированная сеть с наложением в аварийном режиме дополнительной активной составляющей. Значение накладываемой на сеть активной составляющей тока замыкания на землю должно быть на уровне 30...50 % от емкостной составляющей, т.е., выбираться из условия

$$I_a = (0,3 \div 0,5) I_c. \quad (3)$$

Такой режим обеспечивает подавление переходных процессов, улучшение работоспособности устройств защиты (сигнализации) от замыканий на землю, исключает феррорезонансные явления, чем и достигается повышение уровня электробезопасности и надежности и обеспечиваются эксплуатационные показатели, адекватные сетям с резистором в нейтрали даже при расстройках дугогасящего реактора до 50 %.

На рис. 1 для сравнения показаны зоны максимальной кратности перенапряжений от степени расстройки компенсации от резонансного режима в сети с компенсированной нейтралью (зона 1) и в сети с комбинированным режимом работы нейтрали (зона 2). Верхняя и нижняя границы зон соответствуют значениям коэффициента γ , равном соответственно 1 и 0,8, который учитывает физические характеристики сети, относительное место повреждения и прочее.

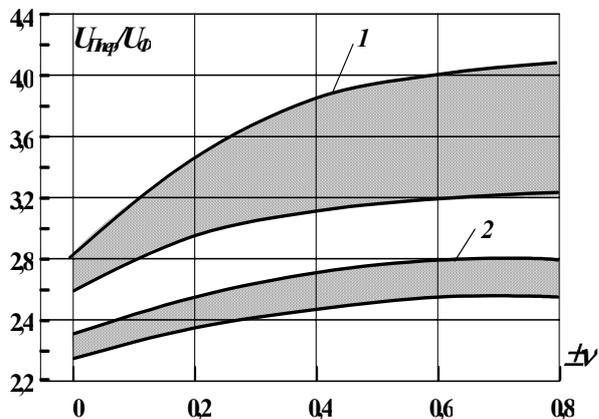


Рис. 1. Зависимость кратности перенапряжений от степени расстройки реактора при компенсированном (1) и комбинированном (2) режиме заземления нейтрали

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лихачев, Ф. В. Повышение надежности распределительных сетей 6-10 кВ [Текст] / Ф. В. Лихачев // Электрические станции. – 1981. – № 11. – С. 51-56.
2. Пивняк, Г. Г. Несимметричные повреждения в электрических сетях карьеров: Справочное пособие [Текст] / Г. Г. Пивняк, Ф. П. Шкрабец. – М.: Недра, 1993. – 192 с.
3. Серов, В. И. Методы и средства борьбы с замыканиями на землю в высоковольтных системах горных предприятий [Текст] / В. И. Серов, В. И. Щуцкий, В. М. Ягудаев. – М.: Наука, 1985. – 136 с.
4. Сирота, И. М. Влияние режимов нейтрали в сетях 6-35 кВ на условия безопасности [Текст] / И. М. Сирота // Режимы нейтрали в электрических системах. – К., 1974. – С. 84-104.
5. Стогний, Б. С. Анализ эффективности существующих режимов нейтрали сетей 6-35 кВ в энергетике [Текст] / Б. С. Стогний, В. В. Масляник, В. В. Назаров // Научно-прикладный журнал «Технічна електродинаміка». – К., 2002. – № 3. – С. 37-41.

Поступила в редколлегию 06.03.2009.