

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗИСТИВНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ I.C.S. „PREMIER ENERGY DISTRIBUTION” S.A.

Анатолий ЧЕКАН

*Технический Университет Молдовы,
Факультет Энергетики и Электроинженерии,
Департамент Энергетики, Группа ЕЕ-18М, Кишинев, Молдова*

Аннотация. В работе проанализирована целесообразность применения новых типов заземления нейтрали, таких как резистивное и комбинированное (параллельное включение резистора и дугогасящего реактора), в отечественных распределительных сетях 6-35 кВ. Приведено описание всех существующих способов заземления, указаны их преимущества и недостатки, критерии их выбора и выбора заземляющих устройств. Описаны причины возникновения перенапряжений в сетях среднего напряжения и переходные процессы, вызванные ими.

Ключевые слова: нейтраль, заземление, перенапряжения, резистор.

Введение

Опыт работы показывает, что подавляющее большинство нарушений нормальной работы сетей среднего напряжения связаны с повреждением изоляции относительно земли с однофазным замыканием на землю. В распределительных сетях 6(10) кВ эти повреждения составляют не менее 75 % от общего числа повреждений. Около 80% случаев замыканий на землю развивались в междуфазные короткие замыкания, что снижает надежность систем электроснабжения вследствие существенного увеличения числа отключений с большим током короткого замыкания, с расходом ресурса выключателя, с глубокой посадкой напряжения, с возможностью отказа АВР. Способ заземления нейтрали — исключительно важная проблема сетей этих классов напряжения. Она должна решаться индивидуально для каждой характерной электрической системы питания и потребления. Получение максимума преимуществ от выбранного способа заземления нейтрали увязывается со специфическими требованиями производственного процесса, основными из которых, как правило, являются надежность системы электроснабжения и стоимость обеспечения заданной надежности. Поэтому наилучшее решение при выборе способа заземления нейтрали — одна из самых трудных задач проектирования системы электроснабжения.

1. Режимы заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ I.C.S. “Premier Energy Distribution”

I.C.S. “Premier Energy Distribution”, бывшая Î.C.S. "RED Union Fenosa" S.A., является крупнейшим частным оператором национальной системы распределения электроэнергии в Республике Молдова, в эксплуатации которого находятся порядка 70% всех распределительных сетей страны. Распределительные сети компании покрывают большую часть страны имея общую протяженность практически 15800 км.

Способы заземления нейтрали, используемые в сетях I.C.S. “Premier Energy Distribution”:

- 1) Изолированная: данный тип нейтрали применяется в основном на подстанциях 35/10(6) кВ.
- 2) Заземленная через реактор: данный тип нейтрали встречается на подстанциях 110/10(6) кВ с разветвленной сетью кабельных линий.

Выбор режима работы нейтрали в сети 6-35 кВ (или режима заземления нейтрали) является весьма важным вопросом при проектировании и эксплуатации (реконструкции) сетей. От режима заземления нейтрали в сети 6-35 кВ зависит:

- ток в месте повреждения и перенапряжения на неповрежденных фазах при однофазном замыкании;
- схема построения релейной защиты от замыканий на землю;
- уровень изоляции электрооборудования;
- выбор ОПН для защиты от перенапряжений;
- бесперебойность электроснабжения;
- допустимое сопротивление контура заземления подстанции;
- безопасность персонала и электрооборудования при однофазных замыканиях.

Очевидно, что режим заземления нейтрали в сети 6-35 кВ оказывает влияние на значительное число технических решений, которые реализуются в конкретной сети.

Большой опыт эксплуатации сетей с изолированной нейтралью, накопленный в мире [1,2], позволяет говорить о существенных недостатках режима изолированной нейтрали в сетях 6-35 кВ, таких как:

- дуговые перенапряжения и пробой изоляции на первоначально неповрежденных фидерах при однофазных замыканиях на землю в сети;
- сложность обнаружения места повреждения (места замыкания);
- возможность возникновения множественных повреждений изоляции (одновременное повреждение изоляции нескольких фидеров) при однофазных замыканиях на землю;
- повреждения трансформаторов напряжения (НТМИ, ЗНОЛ, ЗНОМ) при замыканиях на землю;
- неправильная работа релейных защит от однофазных замыканий на землю;
- опасность электропоражения персонала и посторонних лиц при длительном существовании замыкания на землю в сети.

Достоинствами метода заземления через **дугогасящий реактор** нейтрали являются:

- отсутствие необходимости в немедленном отключении первого однофазного замыкания на землю;
- малый ток в месте повреждения (при точной компенсации – настройке дугогасящего реактора в резонанс);
- исключение феррорезонансных процессов, связанных с насыщением трансформаторов напряжения и неполнофазными включениями силовых трансформаторов.

Недостатками режима заземления нейтрали через **дугогасящий реактор** являются:

- возникновение дуговых перенапряжений при значительной расстройке компенсации;
- возможность возникновения множественных повреждений при длительном существовании дугового замыкания в сети;
- возможность перехода однофазного замыкания в двухфазное при значительной расстройке компенсации;
- возможность значительных смещений нейтрали при резонансной настройке в воздушных сетях;
- сложность обнаружения места повреждения;
- опасность электропоражения персонала и посторонних лиц при длительном существовании замыкания на землю в сети;
- сложность обеспечения правильной работы релейных защит от однофазных замыканий, так как ток поврежденного присоединения очень незначителен.

2. Применение резистивного заземления нейтрали на подстанции ЦРП-9 «Ботаника» 110/10 кВ

Резистивное заземление нейтрали это заземление нейтрали через резистор. Принято различать два варианта заземления нейтрали через резистор: высокоомное и низкоомное. Заземляющий резистор может подключаться так же, как и реактор, к нейтрали специального силового трансформатора.

Преимущества сетей с нейтралью, заземленной через резистор [1,3]:

1. Отсутствие необходимости в немедленном отключении однофазного замыкания на землю (только для высокоомного заземления нейтрали);
2. Отсутствие дуговых перенапряжений;
3. Простая реализация релейной защиты;
4. Исключение повреждений измерительных ТН из-за феррорезонансных процессов;
5. Уменьшение вероятности поражения персонала и посторонних лиц (при низкоомном заземлении нейтрали и быстром отключении)

Недостатки сетей с нейтралью, заземленной через резистор:

1. Увеличение тока в месте повреждения (только для низкоомного заземления нейтрали);
2. Необходимость отключения однофазных замыканий (только для низкоомного заземления нейтрали);

Комбинированное заземление нейтрали представляет собой сочетание компенсированного и резистивного заземления. Нейтральная точка трансформатора или генератора соединяется с заземляющим устройством через параллельно соединённые ДГР и высокоомный резистор, что позволяет снижать уровень перенапряжений при неточной настройке ДГР, а также способствует работе на сигнал релейных защит [3-5]. Для примера установки резистивного заземления в отечественных распределительных сетях мною была взята подстанция ЦРП-9 с развитой кабельной сетью, на которой нейтраль заземлена с помощью ДГР, а именно РУОМ-840/10 и РУОМ-480/10. Для расчета была выбрана первая секция РУ-10 кВ. Общая емкость кабельной сети первой секции равна $C_{\Sigma} = 26,98 \text{ мкФ}$.

Учитывая тот факт, что состояние изоляции по фазам не одинаково на всем протяжении кабельной линии, примем емкость фазы А на 10 % меньше, чем у двух других фаз, т.е.: $C_A = 3,84 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$, $C_B = C_C = 4,48 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$.

Расчет напряжения смещения нейтрали при изолированном режиме:

$$U_{N_{xx}} = -U_{\phi} \frac{C_A + a^2 C_B + a C_C}{C_{\Sigma}} = 0,287 \text{ кВ}. \quad (1)$$

где: $U_{\phi} = 10/\sqrt{3}$ - фазное напряжение, $a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$ - оператор поворота.

Зная паспортные данные реактора РУОМ-840/10, установленного на первой секции шин 10 кВ, можно рассчитать его следующие параметры:

$$R_p = \Delta P_{кз} \frac{U_{ном}^2}{S_{ном}^2} \cdot 10^{-3} = 1,029 \text{ Ом}, \quad (2)$$

$$X_p = \frac{10 \cdot U_{ном} \cdot U_{кз}}{\sqrt{3} I_{ном}} = 20 \text{ Ом}, \quad (3)$$

$$L_p = \frac{X_p}{\omega} = 0,064 \text{ Гн}. \quad (4)$$

Имея эти значения, рассчитываем напряжение смещения нейтрали при ее заземлении через ДГР:

$$U_N = \frac{U_{N_{xx}} (R_p + j\omega L_p)}{R_p + j\omega L_p + \frac{1}{3j\omega C_{\Sigma}}} = -0,091 + 0,006 \text{ кВ} \text{ или модуль } |U_N| = 0,091 \text{ кВ} \quad (5)$$

Как видно из полученных результатов, применение только ДГР уже приводит к уменьшению напряжения смещения нейтрали.

Выбор высокоомного резистора

Для выбора высокоомного резистора нам необходимо подсчитать общий емкостной ток, создаваемый емкостями кабелей 1 секции шин, который равен сумме всех емкостных токов фидеров:

$$I_c = \sum_{i=1}^N I_{C_i}' \cdot l_i = 47,3 \text{ A}, \quad (6)$$

где: I_{C_i}' – удельный емкостной ток i -го присоединения, А/км;

l_i – длина i -го присоединения, км;

N – число присоединений, шт., i – текущий индекс суммирования.

Рассчитываем сопротивление высокоомного высоковольтного резистора:

$$R_{BB} \leq \frac{U_{BH}}{\sqrt{3} \cdot I_c} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 47,3} = 121,85 \text{ Ohm}. \quad (7)$$

Рассчитываем сопротивление высокоомного низковольтного резистора:

$$R_{BH} \leq \frac{27 \cdot U_{BH}}{\sqrt{3} \cdot K^2 \cdot I_c} = \frac{27 \cdot 10000}{\sqrt{3} \cdot 25 \cdot 47,3} = 5,26 \text{ Ohm}. \quad (8)$$

Исходя из этого выбираем мощность трансформатора заземления:

$$S_T \geq \frac{U_{BH}^2}{3 \cdot R_{BB}} = \frac{10000^2}{3 \cdot 121,85} = 273 \text{ кВА}. \quad (9)$$

Учитывая полученные результаты выбираем следующий резистор: высокоомный высоковольтный резистор Фирма «Болид», тип P3-100-10-135 [6].

Вывод

Принимая во внимание вышеизложенное, а также опыт эксплуатации и расчётные показатели, приходим к выводу, что в сетях 6-35 кВ наиболее благоприятными с точки зрения эксплуатации являются режим заземления нейтрали через дугогасящий реактор с низковольтным шунтирующим резистором и режим заземления через резистор (высокоомный или низкоомный). Применение изолированной нейтрали должно быть полностью исключено из практики эксплуатации.

Книги:

1. САЗЫКИН, Виталий, КУДРЯКОВ, Александр. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах. Краснодар: КубГАУ, 2017.

Статьи из журналов:

2. ТИТЕНКОВ, Сергей. Режимы заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ и организация релейной защиты. г. Санкт-Петербург, Новости ЭлектроТехники 2012 г сс.5-15.
3. НАЗАРЫЧЕВ, Александр. Комбинированное заземление нейтрали в Сетях 6–35 кВ, Новости ЭлектроТехники № 3(99) 2016.
4. РЫЖКОВА, Е. Н, ФОМИН, М. А. О критериях выбора режима резистивного заземления нейтрали в сетях 6 – 35 кВ Москва НИУ «МЭИ», 2010
5. БРУЙ, С.Р., ИЛЬИНЫХ, М.В., САРИН, Л.И., ХЛОПОВА, А. Ю. Резисторы заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ. г. Новосибирск: ООО «ПНП Болид», 2017.

Руководящие указания:

6. Руководящие указания по выбору режима заземления нейтрали в электрических сетях напряжением 6-35 кВ ОАО «ЛЕНЭНЕРГО» СТО 18-2013. Санкт-Петербург, 2013.