

Выбор режима заземления нейтрали в электрических сетях среднего напряжения

В данном документе собрана часть найденной информации по рассматриваемому вопросу и предпринята попытка определения областей применения режимов заземления нейтрали в соответствии с имеющимися нормативными документами на начало 2009 года. Данный документ возможно рассматривать лишь как ознакомительную информацию.

Согласно пункту 1.2.16 [1] электрическая сеть напряжением 3-35 кВ может быть выполнена со следующими режимами заземления нейтрали:

- с изолированной нейтралью;
- с нейтралью заземленной через дугогасящий реактор (компенсация емкостного тока замыкания на землю);
- с нейтралью заземленной через высокоомный или низкоомный резистор.

Кроме того возможно совместное применение дугогасящего реактора и резистора в нейтрали сети.

Для выбора режима заземления нейтрали и определения необходимости компенсации емкостного тока замыкания на землю необходимо определить области применения режимов заземления нейтрали и рассмотреть их достоинства и недостатки данных режимов.

1 Изолированная нейтраль

При использовании режима изолированной нейтрали нейтральная точка источника не присоединена к контуру заземления. Обычно обмотки питающих трансформаторов этих сетей соединены в треугольник, поэтому нейтральная точка физически отсутствует. Достоинствами режима

изолированной нейтрали является малый ток однофазных замыканий на землю и отсутствие необходимости в немедленном отключении первого однофазного замыкания. Однако на практике, в большинстве случаев, однофазное замыкание быстро переходит в двухфазное или трехфазное, что приводит к отключению линии. Недостатки данного режима заземления нейтрали:

- феррорезонансные явления, вызываемые кратковременными ОЗЗ;
- дуговые перенапряжения, связанные с появлением перемежающейся дуги при ОЗЗ и приводящие к переходу однофазного замыкания в двух- и трехфазное;
- опасность электропоражения персонала и посторонних лиц при длительном существовании замыкания на землю в сети.

В данных сетях для устранения явления феррорезонанса при однофазных замыканиях на землю, сопровождающееся повреждением трансформаторов напряжения необходимо применять антирезонансные трансформаторы напряжения, например, типа НАМИ. Для ограничения воздействия дуговых перенапряжений на электрооборудование необходимо применять ограничители перенапряжения.

Режим изолированной нейтрали следует применять при малых значениях тока замыкания на землю (до 5-7 А) и необходимости длительной работы с замыканием на землю.

2 Нейтраль, заземленная через дугогасящий реактор

При использовании этого способа заземления нейтрали, обычно, нейтральную точку получают используя специальный трансформатор, в нейтраль которого подключают реактор. Для этих целей возможно также использование ненагруженных трансформаторов и трансформаторов собственных нужд обмотки 0,4 кВ, соединенной в треугольник. В этом случае необходима проверка ТСН по допустимой нагрузке. Способ включения ДГР в нейтраль показан на рисунке 11.1.

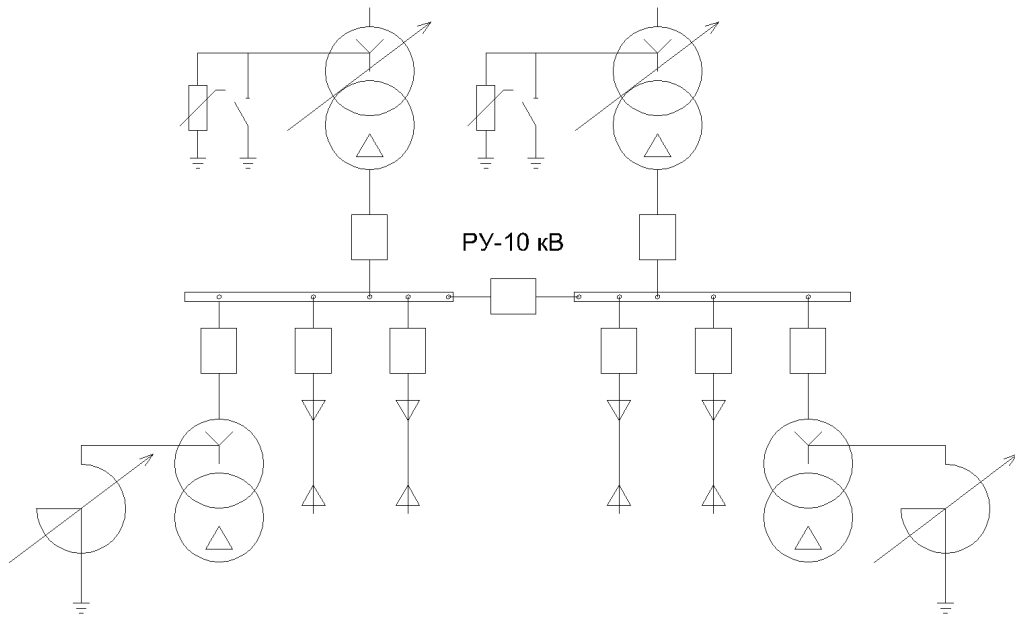


Рисунок 1 – Нейтраль, заземленная через ДГР

При отсутствии трансформаторов со схемой соединения обмоток "звезда - треугольник" для подключения реакторов допускается использовать ненагруженные трехфазные трансформаторы со схемой соединения обмоток "звезда - звезда".

Расчетная мощность реактора определяется по формуле, квар:

$$Q_k = I_c \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}},$$

где I_c – емкостной ток замыкания на землю, А;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение сети, кВ.

Согласно вышеперечисленным источникам при данном режиме заземления нейтрали необходимо применять плавнорегулируемые реакторы с микропроцессорными автоматическими регуляторами, автоматически настраиваемые в резонанс при изменении параметров сети. В этом случае возможно получение всех достоинств данного режима:

- снижение перенапряжения при дуговых замыканиях на землю до безопасных для изоляции значений 2,2-2,4 U_{ϕ} ;
- уменьшение тока в месте замыкания до минимального значения (в пределе до активной составляющей и тока высших гармоник);

- обеспечение надежного гашения заземляющих дуг;
- снижение скорости восстановления напряжения на поврежденной фазе;
- предотвращение развития феррорезонансных процессов;
- отсутствие необходимости в отключении первого однофазного замыкания;
- облегчение требований к заземляющим устройствам.

Возможно также применение сети с нейтралью заземленной через настроенный в резонанс дугогасящий реактор с компенсацией остаточных, активных составляющих промышленной частоты на поврежденной фазе. Для этого могут быть использованы всережимные микропроцессорные устройства автокомпенсации емкостных и активных составляющих тока промышленной частоты типа УАРК.201 (для кабельных сетей), УАРК.201М (для воздушных и смешанных сетей). Такая сеть называется сетью с полностью компенсированной нейтралью (с ПК-нейтралью). При этом компенсация активных составляющих осуществляется введением соответствующего напряжения в нейтраль сети.

Согласно пункту 1.2.16 [1] компенсация емкостного тока замыкания на землю, т.е. применение сети с нейтралью заземленной через дугогасящий реактор должна применяться при значении емкостного тока замыкания на землю в нормальных режимах:

1. в сетях напряжением 3-20 кВ, имеющих железобетонные и металлические опоры на воздушных линиях электропередачи, и во всех сетях напряжением 35 кВ - более 10 А;
2. в сетях, не имеющих железобетонных и металлических опор на воздушных линиях электропередачи:
 - более 30 А при напряжении 3-6 кВ;
 - более 20 А при напряжении 10 кВ;
 - более 15 А при напряжении 15-20 кВ;

3. в схемах генераторного напряжения 6-20 кВ блоков генератор-трансформатор – более 5А.

3 Нейтраль, заземленная через резистор

Резистор может включаться так же, как и реактор, в нейтраль специального заземляющего трансформатора. Возможны и другие варианты включения резистора, когда нейтраль заземляющего трансформатора наглухо присоединяется к контуру заземления, а резистор включается во вторичную обмотку, собранную в разомкнутый треугольник, либо используется однообмоточный трансформатор (фильтр нулевой последовательности) с соединением обмотки ВН в зигзаг типа ФМЗО. Варианты включения резистора показаны на рисунке 2.

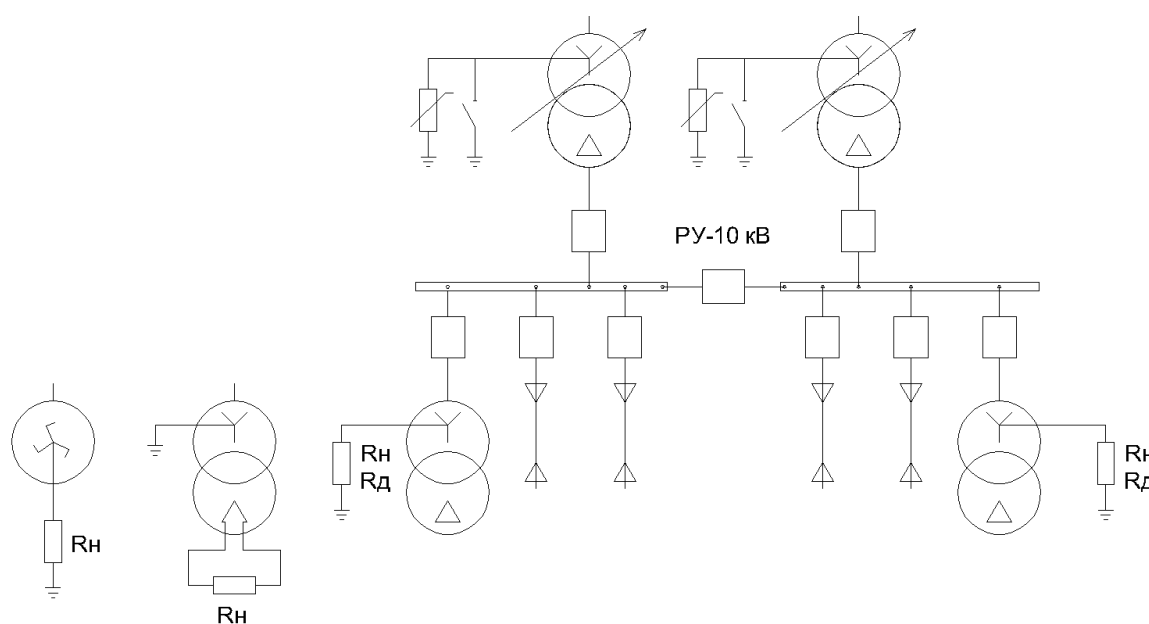


Рисунок 2 – Нейтраль, заземленная через резистор

Возможны два варианта реализации резистивного заземления нейтрали: высокоомный или низкоомный. Подключение низкоомного резистора возможно только в нейтраль заземляющего трансформатора.

Высокоомный резистор применяется в сетях с емкостным током замыкания на землю не более 10 А. При этом сопротивление резистора, подключаемого в нейтраль заземляющего трансформатора, должно быть не выше сопротивления рассчитанного по формуле, Ом:

$$R_{\text{н}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot I_c},$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение сети, В;

I_c – емкостной ток замыкания на землю, А.

Сопротивление резистора, подключаемого во вторичную обмотку заземляющего трансформатора, должно быть не выше сопротивления рассчитанного по формуле, Ом:

$$R_{\text{д}} = \frac{27 \cdot U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot K^2 \cdot I_c},$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение сети, В;

I_c – емкостной ток замыкания на землю, А;

K – коэффициент трансформации заземляющего трансформатора, о.е.

Мощность заземляющего трансформатора выбирается исходя из условия:

$$S \geq \frac{U_{\text{вн}}^2}{3 \cdot R_{\text{н}}} = \frac{(3 \cdot U_{\text{нн}})^2}{R_{\text{д}}},$$

где $U_{\text{нн}}$ – линейное напряжение стороны низшего напряжения трансформатора, В.

В сетях с емкостным током замыкания на землю от 10 до 100 А, где возможно отключение однофазных замыканий на землю, может применяться низкоомный резистор, величина которого выбирается исходя из: условий селективной работы токовых защит от замыканий на землю; стойкости опор ВЛ, оболочек и экранов кабелей к протеканию такого тока однофазного замыкания. Сопротивление низкоомного резистора должно быть не выше сопротивления рассчитанного по формуле:

$$R_{\text{н}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{сз.макс}}},$$

где $I_{\text{сз.макс}}$ – , А.

Достоинствами резистивного заземления нейтрали являются:

- устранение феррорезонансных явлений;
- снижение уровня дуговых перенапряжений;
- отсутствие необходимости в отключении первого однофазного замыкания на землю при высокоомном заземлении нейтрали;
- уменьшение вероятности поражения персонала и посторонних лиц при однофазном замыкании при низкоомном заземлении и быстром селективном отключении поврежденного участка;
- простое выполнение чувствительной и селективной релейной защиты от однофазных замыканий на землю, основанной на токовом принципе.

Недостатками резистивного режима заземления нейтрали являются:

- увеличение тока в месте повреждения;
- необходимость в отключении однофазных замыканий при низкоомном заземлении.

В активно-индуктивном режиме сеть работает с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор, и при дуговых замыканиях на землю проявляются все положительные стороны компенсации емкостных токов. При металлическом замыкании на землю параллельно дугогасящему реактору подключается резистор на время, достаточное для срабатывания защиты от замыкания на землю.

4 Выводы

На основе вышеперечисленных характеристик режимов заземления нейтрали составлена таблица с областями применения данных режимов (таблица 1).

Таблица 1 – Области применения режимов заземления нейтрали в сетях напряжением 3 – 35 кВ

Тип электрической сети	Напряжение сети, кВ	Емкостной ток замыкания на землю в нормальном режиме, А	Длительная работа с замыканием на землю
Сети генераторного напряжения	6 - 20	до 5	изолированная нейтраль, нейтраль заземленная через высокоомный резистор
		более 5	нейтраль заземленная через ДГР
Сети имеющие железобетонные и металлические опоры на ВЛ	3 - 35	до 10	изолированная нейтраль, нейтраль заземленная через высокоомный резистор
		более 10	нейтраль заземленная через ДГР
Сети не имеющие железобетонных и металлических опор на ВЛ	3 - 6	до 10	изолированная нейтраль, нейтраль заземленная через высокоомный резистор
		от 10 до 30	изолированная нейтраль, нейтраль заземленная через низкоомный резистор
		более 30	нейтраль заземленная через ДГР
	10	до 10	изолированная нейтраль, нейтраль заземленная через высокоомный резистор
		от 10 до 20	изолированная нейтраль, нейтраль заземленная через низкоомный резистор
		более 20	нейтраль заземленная через ДГР
	15 - 20	до 10	изолированная нейтраль, нейтраль заземленная через высокоомный резистор
		от 10 до 15	изолированная нейтраль, нейтраль заземленная через низкоомный резистор
		более 15	нейтраль заземленная через ДГР
Сети не имеющие железобетонных и металлических опор на ВЛ	35	до 10	изолированная нейтраль, нейтраль заземленная через высокоомный резистор
		Более 10 А	нейтраль заземленная через ДГР

Для принятия решения о необходимости компенсации емкостного тока замыкания на землю необходимо определить данный ток в нормальном режиме. Ориентировочно рассчитать емкостной ток замыкания на землю можно по формуле:

$$I_c = U_{\text{ном}} \left(\frac{L_{\text{вл}}}{300} + \frac{L_{\text{кл}}}{K} \right),$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение сети, кВ;

$L_{\text{вл}}$ – общая длина воздушных линий сети, км;

$L_{\text{кл}}$ – общая длина кабельных линий сети, км;

K – коэффициент, равный: 10 о.е. для кабелей с бумажной изоляцией, 5 о.е. для кабелей с изоляцией из СПЭ, 3 о.е. для кабелей с изоляцией из ПВХ.

Список использованных источников

1. Правила Устройства Электроустановок 7-е издание.
2. РД 34.20.179 Типовая инструкция по компенсации емкостного тока замыкания на землю в электрических сетях 6-35 кВ.
3. Титенков С. Четыре режима заземления нейтрали // Новости Электротехники. - 2003. - N 5(23).
4. Миронов И. Режим заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ. Нужно ли отказываться от компенсации емкостного тока замыкания на землю? // Новости Электротехники. - 2003. - N 6(24).
5. СТО ГАЗПРОМ 2-1.11-070-2006 Методические указания по выбору режима заземления нейтрали в сетях напряжением 6 и 10 кВ дочерних обществ и организаций ОАО "ГАЗПРОМ" 2006 г.
6. Обаков В.К. Сравнительный анализ и оптимизация режимов заземления нейтрали в коротких сетях различного назначения // Вестник Госэнергонадзора и Энергоснабжения. – 2/2002.