

ОГРАНИЧЕНИЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ И ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЗАЩИТ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТИ СОБСТВЕННЫХ НУЖД 6 кВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В.Ф. Сивокобыленко, В.К. Лебедев, Р.П. Сердюков
Донецкий Национальный Технический Университет
Украина, 83000, г.Донецк, ул. Артёма 58.
Тел./факс: (062)301-03-72 / 304-12-78, E-mail:svf@elf.dgtu.donetsk.ua

Annotation - Consider the dignity of the resistive neutral grounding networks of their own needs 6 kW of operating power. Proposed connection of resistors to the low voltage windings neutral generator single-phase transformers connected in open triangle. The technique of choice of parameters of single-phase transformers and low-voltage resistor within the parameters of the network, the required level of restrictions on overvoltage and prevent ferromagnetic resonance processes, as well as increasing the sensitivity of fault protection on the ground.

Key words – Electrical network, arc-circuit, overvoltage, resistive neutral grounding, transformers.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

В настоящее время для систем электроснабжения собственных нужд (с.н.) 6 кВ тепловых (ТЭС) и атомных (АЭС) электростанций принят режим работы сети с изолированной нейтралью. Преимущества такого режима общеизвестны – позволяет не отключать повреждённое присоединение на время до 4 часов до определения места повреждения.

Однако при наличии дуговых замыканий возможно возникновение значительных перенапряжений [1], приводящих к пробое изоляции высоковольтных электродвигателей, междуфазным замыканиям, пожарам и др. Кроме этого, для с.н. электростанций характерным является относительно низкий уровень емкостных токов замыкания на землю (до 5А на ТЭС и до 15А на АЭС), что во многих режимах работы блока приводит к недостаточной чувствительности защит от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ).

В связи с изложенным, уже на протяжении десятков лет ведутся поиски путей повышения надёжности работы систем электроснабжения собственных нужд 6 кВ тепловых и атомных электростанций, от которых в большой степени зависит надёжность работы не только блоков электростанций, но и надёжность работы энергосистемы в целом.

Одним из направлений совершенствования условий эксплуатации сетей с изолированной нейтралью 6 - 10 кВ, которое уже используется в ряде зарубежных стран, является резистивное заземление нейтрали сети [2-6]. Применение резистивного заземления нейтрали в сетях с.н. электростанций, как показано в [7], дает возможность снизить уровни перенапряжений при ОЗЗ с $(3,5 - 4,5)U_n$ до $(2,2 - 2,6)U_n$ и увеличить токи замыкания на землю для повышения чувствительности релейной защиты.

Однако, рекомендуемый циркулярами [2,3] способ заземления нейтрали сети через низкоомный высоковольтный резистор величиной 100 Ом, который подключается к нейтрали специального трансформатора ТСНЗ- 63-10 мощностью 63 кВА, на большинстве электростанций не всегда осуществим из-за недостаточной термической стойкости

бетеловых резисторов, их громоздкости и значительного увеличения суммарного емкостного тока замыкания до 35А и более, что при длительных замыканиях представляет опасность для обмоток статоров двигателей.

С целью снижения термического действия дуги и повышения термической стойкости самого высоковольтного резистора в настоящее время рекомендуется применение высоковольтных высокоомных резисторов величиной 1000 - 2000 Ом [4], которые разработаны и изготавливаются Новосибирским предприятием “ ПНП Болид”, из специального электропроводящего композиционного материала “Эком” на основе керамики. Однако недостатком таких резисторов является высокая стоимость, громоздкость, конструкционная сложность монтажа и наладки. Поэтому актуальным является дальнейшее совершенствование способа увеличения активной составляющей тока замыкания на землю за счет установки низковольтных резисторов вместо применяемых сейчас высоковольтных.

РАЗРАБОТКИ СПОСОБОВ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В данной работе предложен способ заземления нейтрали сети собственных нужд 6 кВ электростанций через низковольтный резистор R_n , который подключается к обмоткам низшего напряжения 0.4 кВ специальных однофазных нейтралеобразующих присоединительных трансформаторов или трёхфазного трансформатора броневое типа. Возможен также вариант заземления нейтрали сети через стандартный трёхфазный трёхстержневой нейтралеобразующий трансформатор с включением в его нейтраль однофазного понижающего трансформатора (вместо высоковольтного резистора R_B) для подключения низковольтного резистора. Варианты подключения низковольтных резисторов приведены на рис.1.

На выбор параметров трансформаторов (рис.1) оказывают влияние параметры системы электроснабжения и требуемая мощность низковольтного резистора. Параметры нейтралеобразующего трансформатора и низковольтного резистора выбирают в зависимости от требуемого снижения уровня

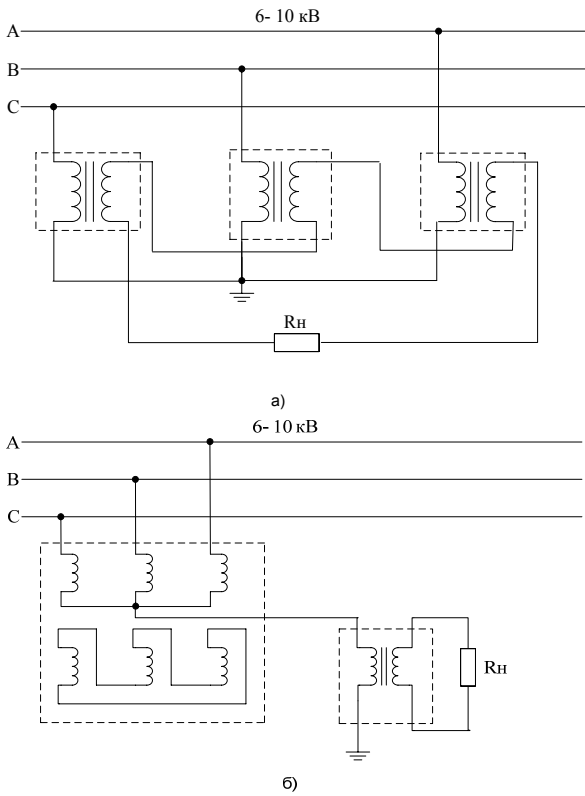


Рис.1. Возможные схемы подключения низковольтного резистора:

- а) в разомкнутый треугольник вторичных обмоток трёх однофазных нейтралеобразующих трансформаторов или трёхфазный трансформатор броневого типа;
- б) во вторичную обмотку однофазного понижающего трансформатора, подключённого в нейтраль стандартного трёхфазного трехстержневого нейтралеобразующего трансформатора.

перенапряжений, эффективного предотвращения феррорезонансных процессов и величины дополнительной составляющей активного тока для повышения чувствительности релейной защиты от однофазных замыканий на землю. При этом необходимые исследования целесообразно осуществлять с помощью математического моделирования процессов при ОЗЗ.

Для моделирования использовалась математическая модель, описанная в [8]. Схема замещения сети, которая использовалась при моделировании системы электроснабжения показана на рис.2. На ней изображены: питающий секцию сборных шин трансформатор (ИП); однофазные нейтралеобразующие присоединительные трансформаторы (ПТ) с подключенным к их обмоткам низшего напряжения, соединённых в разомкнутый треугольник, низковольтным резистором; отходящие от сборных шин присоединения (П1...Пп), количество которых зависит от конкретной рассматриваемой схемы сети.

Математическая модель для исследования дугowych и металлических замыканий на землю была составлена на основе дифференциальных уравнений всех элементов сети, для решения которых использовались неявные методы численного интегрирования. По результатам моделирования было установлено, что при отсутствии резистивного заземления

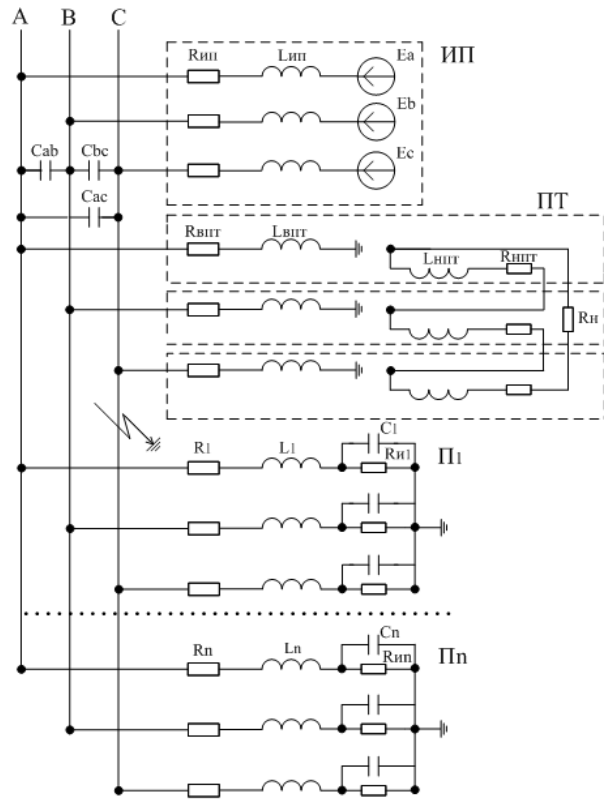


Рис.2. Схема замещения системы электроснабжения

нейтрали сети уровень перенапряжений при дугowych ОЗЗ, например, в системе электроснабжения с.н. блоков 300 МВт, может достигать до 4-х крат и более от номинального фазного напряжения в зависимости от количества повторных зажиганий дуги и других факторов. Такой процесс возникновения перенапряжений показан на рис.3. Как видно из рисунка, если после зажигания дуги её гашение происходит в момент перехода высокочастотной составляющей тока через нуль, то ёмкости здоровых фаз сохраняют свой заряд в связи с отсутствием путей их разряда из-за разрыва связи с землей. Вследствие этого появляется напряжение смещения нейтрали и при последующих пробоях изоляции уровень перенапряжений возрастает. Таким образом происходит эскалация уровня перенапряжений.

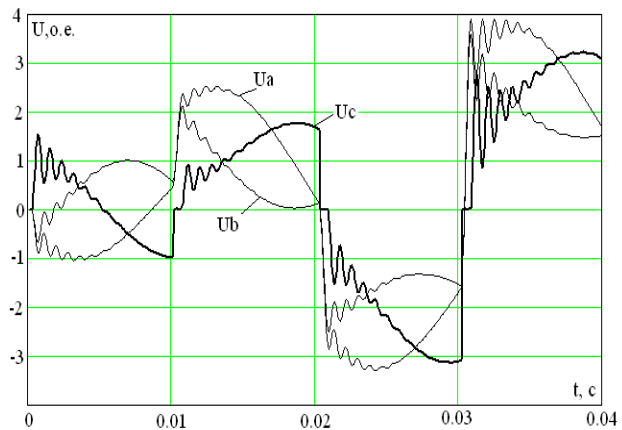


Рис.3. Уровни перенапряжений при дугowym ОЗЗ и отсутствии резистивного заземления нейтрали сети

Основное назначение резистора заключается в том, чтобы за время до следующего пробоя изоляции обеспечить достаточный разряд емкостей здоровых фаз и снизить напряжения смещения нейтрали. Запасенная энергия в емкостях расходуется при этом на нагрев резистора. Кроме того, включение резистора в нейтраль сети предотвращает возникновение феррорезонансного процесса, который может возникнуть при высокой степени намагничивания магнитопроводов трансформаторов напряжения, имеющих заземлённую нейтраль, через индуктивность которых стекает ёмкостной заряд после погасания дуги. Насыщение магнитопровода можно предотвратить, если разряд емкости сети после погасания дуги будет протекать за время менее полупериода промышленной частоты сети (0,01 с). Постоянная времени разряда ёмкостей сети τ прямо пропорциональна произведению суммарной емкости фаз сети (C) на величину активного сопротивления высоковольтного резистора в нейтрали R_B . Тогда, считая, что процесс разряда ёмкости через резистор происходит за время $(3-4)\tau$, требуемую величину высоковольтного резистора можно определить как:

$$R_B \leq \frac{0,01}{(3 \div 4) \cdot C} \quad (1)$$

Если принять активную составляющую тока замыкания на землю, обусловленную сопротивлением резистора, равной ёмкостному току сети, то величину сопротивления высоковольтного резистора можно найти из соотношения:

$$\frac{U_\phi}{R_B} = U_\phi \cdot \omega \cdot C \quad (2)$$

где U_ϕ – фазное напряжение сети; $\omega = 2\pi f$ – угловая частота; C – суммарная емкость фаз сети.

Из (2) следует, что величина R_B должна быть равна:

$$R_B = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad (3)$$

Анализ выражений (1) и (3) показывает, что величину высоковольтного резистора следует выбирать таким образом, чтобы активная составляющая тока, с одной стороны, была не меньше ёмкостной составляющей, а с другой стороны – суммарный ток при ОЗЗ не превышал 10 А, который согласно ПУЭ, является предельно допустимым длительным током для двигателя при ОЗЗ в его обмотках статора. В случае равенства активного дополнительного тока в месте ОЗЗ ёмкостному току, чувствительность защиты от ОЗЗ повышается в $\sqrt{2}$, так как ёмкостной и активный ток сдвинуты по фазе на 90° .

На рис.4 показан переходный процесс при ОЗЗ в системе электроснабжения собственных нужд с суммарной ёмкостью фаз сети $C = 4,5$ мкФ и низковольтным резистором $R_H = 28$ Ом, включенным по схеме

рис.1а. Как видно, при дуговом замыкании на землю уровень перенапряжений не превышает $2,3 U_n$.

Для обеспечения требуемой величины активной составляющей тока в режиме ОЗЗ при использовании низковольтного резистора по схеме рис.1а и обеспечения соответствующего уровня перенапряжений требуется выбор величины низковольтного резистора и мощности присоединительного нейтралеобразующего трансформатора.

Величину низковольтного резистора R_H при

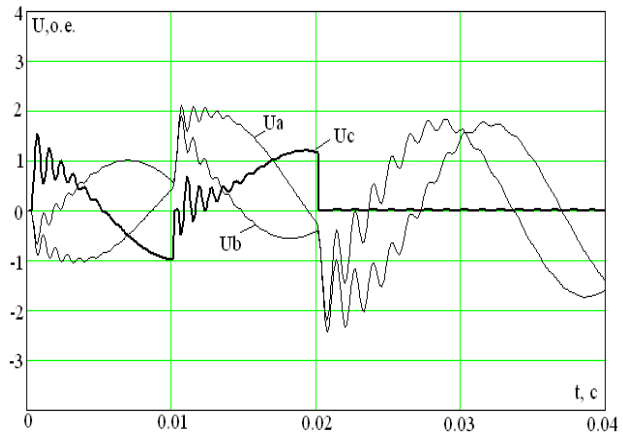


Рис.4. Уровни перенапряжений при дуговом ОЗЗ и резистивном заземлении нейтрали сети

известной величине высоковольтного резистора R_B можно определить из условия равенства поглощаемой в режиме ОЗЗ активной мощности высоковольтным и низковольтным резисторами, т.е.

$$\left(\frac{U_\phi}{R_B}\right)^2 \cdot R_B = \left(\frac{3U_\phi}{K_T \cdot R_H}\right)^2 \cdot R_H \quad (4)$$

где K_T – коэффициент трансформации однофазного присоединительного трансформатора.

Из (4) следует, что величину R_H можно найти как:

$$R_H = \frac{9 \cdot R_B}{K_T^2} \quad (5)$$

Таким образом, при выборе величины низковольтного резистора R_H согласно (5), выделяемая в нём мощность P_H при ОЗЗ будет определяться, как это следует из (4), следующим образом:

$$P_H = \frac{9U_\phi^2}{K_T^2 \cdot R_H} \quad (6)$$

Так как в режиме ОЗЗ указанная мощность поступает от двух фаз трансформатора, то мощность одной его фазы (рис.1а) будет составлять примерно половину мощности, которая выделяется на низковольтном резисторе согласно (6), а величина тока в

цепи низковольтного резистора, установленного в обмотке разомкнутого треугольника (рис.1а), будет зависеть от номинального значения напряжения вторичных обмоток.

На основе анализа схем электроснабжения с.н. наиболее распространённых в Украине блоков мощностью 200 и 300 МВт, где емкостные токи секций не превышают 5 А, можно рекомендовать к установке схему с однофазными присоединительными трансформаторами (рис.1а) с высшим напряжением 6 кВ, низшим – 0,4 кВ. Мощность каждой фазы трансформатора будет составлять порядка 10 кВА, а величина низковольтного резистора порядка 15 - 30 Ом с номинальным длительным током 20-25 А. Такие резисторы и трансформаторы выпускаются серийно промышленностью.

Результаты математического моделирования дуговых замыканий для схем с.н. блоков 200 и 300 МВт с резистивным заземлением нейтрали (согласно рис.1а) практически полностью совпадают с приведёнными выше результатами предварительных расчётов.

Резистивное заземление нейтрали систем электроснабжения с.н. блоков является актуальным для ТЭС и АЭС Украины, так как позволяет за счёт ограничения уровня перенапряжений существенно увеличить срок службы изоляции асинхронных высоковольтных двигателей, находящихся в эксплуатации 15 и более лет. Если принять зависимость срока службы изоляции от квадрата уровня перенапряжений, то тогда уменьшение кратности перенапряжений от $4U_H$ до $2,5U_H$ позволяет продлить срок эксплуатации примерно в 2 раза.

При резистивном заземлении нейтрали исчезают также условия возникновения феррорезонансных процессов при ОЗЗ, которые, как известно, характерны для сетей 6-35 кВ при токах замыкания менее 3 А и являются одной из основных причин повреждения трансформаторов напряжения и другого оборудования. Так как такого рода режимы имеют место на электростанциях при пусках, остановках блоков, а также при различных ремонтных режимах, то предотвращение явлений феррорезонанса имеет важное значение.

ВЫВОДЫ

1. Для повышения надежности работы сетей собственных нужд ТЭС и АЭС целесообразно применять резистивное заземление нейтрали сети 6 кВ с использованием специальных нейтралеобразующих трансформаторов, что позволяет снизить уровень перенапряжений при замыканиях фазы на землю, предотвратить возникновение феррорезонансных процессов, повысить чувствительность и селективность действия релейной защиты присоединений, повысить межремонтный срок службы асинхронных

двигателей и кабелей.

2. Вместо термически малостойких бетэловых или выполненных из композиционных материалов высоковольтных резисторов целесообразнее является установка низковольтных фехралевых или проволочных резисторов и подключение их в разомкнутый треугольник вторичных обмоток трёх однофазных нейтралеобразующих трансформаторов или к трёхфазному трансформатору броневое типа.

3. Изложена методика выбора параметров нейтралеобразующих однофазных трансформаторов и низковольтных резисторов, включаемых в цепь разомкнутого треугольника обмоток низшего напряжения трансформаторов. Выбор указанных элементов производится с учетом параметров сети, требуемых уровней ограничения перенапряжений и повышения чувствительности защит за счет создания дополнительной активной составляющей тока при ОЗЗ.

4. Результатами математического моделирования и экспериментами на физической модели подтверждена эффективность применения низковольтного резистивного заземления нейтрали сети 6 кВ собственных нужд электростанций.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Лихачев Ф.А. Замыкание на землю в сетях с изолированной нейтралью и компенсацией емкостных токов. – М., Энергия, 1971. – 152 с.
- [2] Циркуляр Ц-01-88. О повышении надежности сетей 6 кВ собственных нужд энергоблоков АЭС. – М., 1988. – 7 с.
- [3] Циркуляр Ц-01-97. О повышении надежности сетей 6 кВ собственных нужд энергоблоков АЭС. – М., 1997. – 7 с.
- [4] Евдокунин Г.А., Гудилин С.В., Корепанов А.А. Выбор способа заземления нейтрали в сетях 6-10 кВ. – Электричество, 1998, №12. – С. 8-22.
- [5] Стогний Б.С., Масляник В.В., Назаров В.В. и др. О необходимости изменений режимов нейтрали в сетях 3-35кВ. – Энергетика и Электрификация, 2001, №4. – С. 27-29.
- [6] Сивокобыленко В.Ф., Лебедев В.К. Выбор величины резистора для заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ// VI міжнародна науково-технічна конф.: зб.праць. – Маріуполь: Вид-во ПДТУ, 2008. – С. 306-311.
- [7] Сивокобыленко В.Ф., Лебедев В.К., Махида Сильва. Анализ процессов дуговых замыканий на землю в сетях собственных нужд ТЭС и АЭС // Сб. научн. тр. ДонГТУ (Серия: электротехника и энергетика). – Выпуск 17. – Донецк, 2000. – С. 129-133.
- [8] Сивокобыленко В.Ф., Лебедев В.К., Ковязин А.В., Сердюков Р.П. и др. Повышение надежности работы карьерных сетей при однофазных замыканиях на землю // Сб. научн. тр. ДонГТУ (Серия: электротехника и энергетика). – Выпуск 9(158). – Донецк, 2009. – С. 211-220.