

УДК 621.316.9

ВНЕДРЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО РЕЖИМА ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ В СЕТИ 6 кВ ПС «НАБЕРЕЖНАЯ» ООО «БАШКИРЭНЕРГО»

А. В. САФИН¹

¹Saf.a0@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНИТ)

Аннотация. Проведен сбор и анализ данных ПС «Набережная», определены уровни перенапряжений при существующем режиме заземления нейтрали, проведен расчет, анализ и выбор необходимого типа заземления, определены значения перенапряжений для наиболее целесообразного типа заземления.

Ключевые слова: нейтраль, комбинированное заземление, замыкание на землю, емкостной ток, резистор.

ВВЕДЕНИЕ

Тип заземления нейтрали в значительной степени определяет такие эксплуатационные качества электрической сети, как надежность электроснабжения, степень тяжести аварийных повреждений и время ликвидации аварии. Укоренившееся в российских сетях напряжение 6–35 кВ в схемах с сугубо изолированной или компенсированной нейтралью не всегда является рациональным.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

В сети 6 кВ, запитанной от подстанции (ПС) «Набережная» ООО «Башкирэнерго», применяется компенсированный режим заземления нейтрали, который позволяет сохранять питание потребителей при сохранении однофазного замыкания на землю (ОЗЗ). Такое достоинство сети в действительности перестает иметь принципиальное значение, поскольку замыкания на землю во многих случаях быстро перерастают в короткие замыкания (КЗ) с аварийным отключением. Режим нейтрали с удержанием ОЗЗ позволяет увеличить ресурс выключателей, т.к. ОЗЗ составляют 70 – 90% от общего числа замыканий, а ток ОЗЗ достаточно низок. Однако такой режим нейтрали с удержанием ОЗЗ имеет целый ряд существенных недостатков:

- вероятность появления критичных для изоляции перенапряжений при повторных циклах зажигания и гашений дуги при ОЗЗ; возможность возникновения множественных (многоместных и междуфазных) повреждений изоляции оборудования из-за дуговых перенапряжений;
- сложность обнаружения места ОЗЗ;
- возможность возникновения феррорезонансов и, соответственно, повреждения трансформаторов напряжения при ОЗЗ;
- сложность обеспечения надёжной работы релейных защит от ОЗЗ, поскольку реальный ток замыкания на землю зависит от режима работы сети (числа включенных присоединений);
- опасность поражения людей электрическим током, особенно при длительном существовании замыкания.

Наличие в сети 6 кВ ПС «Набережная» линий с изоляцией из сшитого полиэтилена требует изменения режима нейтрали и ограничения времени удержания ОЗЗ, а если возможно – быстрого отключения всех однофазных повреждений на кабельных линиях (КЛ) для исключения перехода ОЗЗ в междуфазные КЗ.

Для определения технического решения по оптимальному режиму заземления нейтрали сети 6 кВ, запитанной от ПС «Набережная», необходимо рассмотреть следующие варианты:

- заземление нейтрали сети через низкоомный резистор;
- заземление нейтрали через высокоомный резистор.
- комбинированное заземление нейтрали сети (заземление через параллельно соединенные высокоомный резистор и дугогасящий реактор).

Согласно требованиям Правил устройства электроустановок (ПУЭ) и Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации (ПТЭ ЭСис РФ) при значениях емкостного тока более 20А в сети 6 кВ необходимы устройства компенсации емкостного тока, в связи с чем, эксплуатация сети 6 кВ ПС «Набережная» без дугогасящего реактора (ДГР) нормативно недопустима, следовательно, из перечисленного возможно только применение комбинированного режима заземления нейтрали.

При комбинированном заземлении нейтрали сети параллельно системе компенсации (один или несколько ДГР) подключается высокоомный резистор. Такая схема допускает существование неотключенного ОЗЗ на время поиска повреждения и перевода потребителей на резервное питание.

При комбинированном заземлении нейтрали выполняется параллельное включение резистора и ДГР в нейтраль электрической сети, при этом предполагается, что сеть имеет возможность длительной работы при ОЗЗ. Такой способ заземления нейтрали применяется при необходимости компенсации емкостного тока согласно требованиям ПУЭ и ПТЭ ЭСис. Релейную защиту от однофазных замыканий при комбинированном заземлении нейтрали можно организовать как на отключение, так и на сигнал, в зависимости от категории надежности и наличия резерва питания потребителей по каждому конкретному присоединению.

Выбор сопротивления резистора, устанавливаемого параллельно ДГР, производится по значению тока раскомпенсации ΔI :

$$R_N \leq k_\Omega * \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} * \Delta I}, \quad (1)$$

где $k_\Omega = 1,5 \dots 2$ – коэффициент запаса, который учитывает возможность ограничения перенапряжений до допустимого уровня 2,3-2,35 $U_{\text{фmax}}$ даже при токе резистора, меньшим на 20 – 30% относительно тока ΔI .

Для режима с отдельной работой секций принимаем значения, согласно данным с ПС «Набережная»: отключение ячейки №24 2 секции шин (СШ) с током раскомпенсации $\Delta I = 10,79$ или 18,29% относительно I_c .

Принимая $k_\Omega = 1,5 \dots 2$, получаем для 2СШ значения сопротивлений в диапазоне $R_{N(1)} = 506..675$ Ом. Учитывая допуск на сопротивление $\pm 10\%$ по ГОСТ 9664-74, следует принять сопротивление резистора ниже расчетного на 10%, т.е. $R_N = 455..607$ Ом.

Для унификации оборудования на подстанции сопротивление резистора на 1 СШ и на 2 СШ выбирается одинаковым. Номиналы резисторов должны быть уточнены по результатам компьютерного моделирования и расчетов перенапряжений.

Оптимальное техническое решение по заземлению нейтрали сети 6 кВ ПС «Набережная» включает совместное применение ДГР и резисторов – комбинированное заземление нейтрали. Такой способ заземления нейтрали технически обоснован и имеет большой положительный опыт эксплуатации и нормативно закреплен в локальных стандартах ПАО «Газпром», ПАО «МРСК Волги», ОАО «МРСК Сибири», а также детализирован в проходящих в настоящее время процедуру согласования внутренних нормативных документах ПАО «МОЭСК» и Группы «ЛУКОЙЛ». В Беларуси такой режим нейтрали закреплен на уровне ПТЭ электроустановок потребителей.

Для определения сопротивления резисторов, которые необходимо включить в контур нейтрального проводника для снижения перенапряжений до уровня, безопасного для изоляции оборудования, в среде динамического моделирования *Matlab Simulink* построена модель упрощенной схемы сети 6 кВ ПС «Набережная» (рис.1). При моделировании ОЗЗ в сети с номиналами резисторов от 450 до 600 Ом, получены результаты, приведенные в таблице 1.

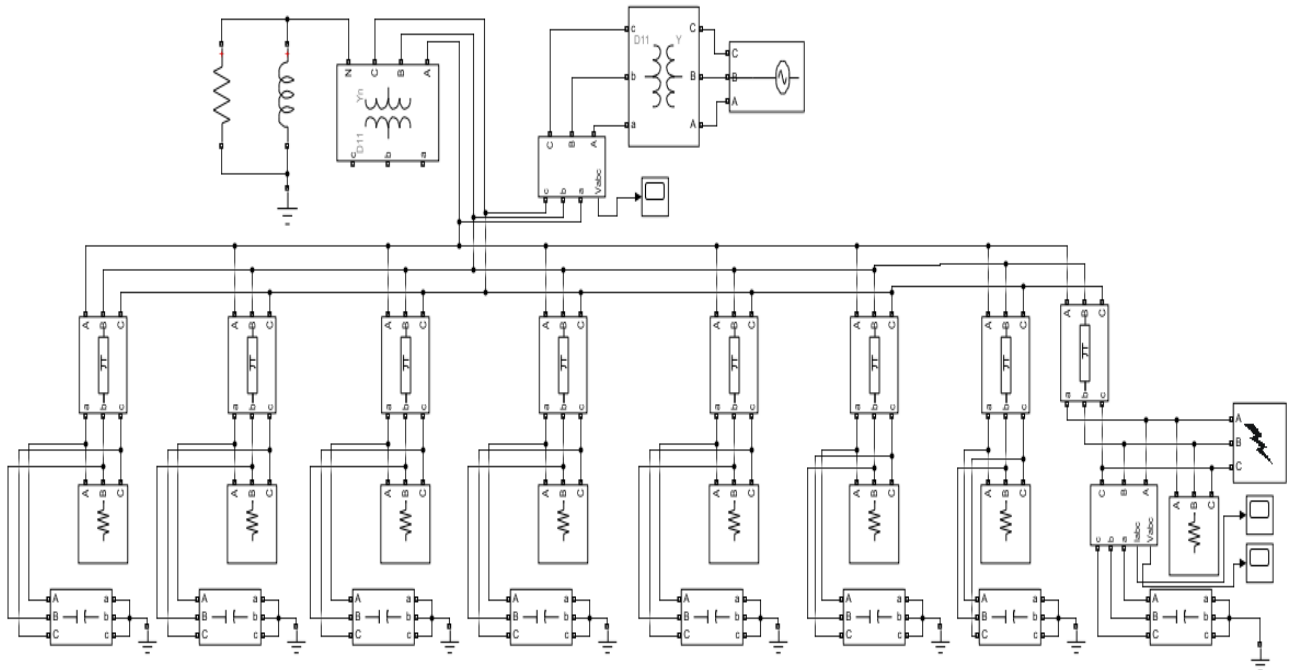


Рис. 1. Схема замещения 2 секции сети 6кВ ПС «Набережная»

Осциллограмма переходного процесса при дуговых ОЗЗ в сети 6 кВ ПС «Набережная» с заземлением нейтрали через параллельно установленные ДГР и резистор для 2СШ ПС «Набережная» приведена на рисунке 2.

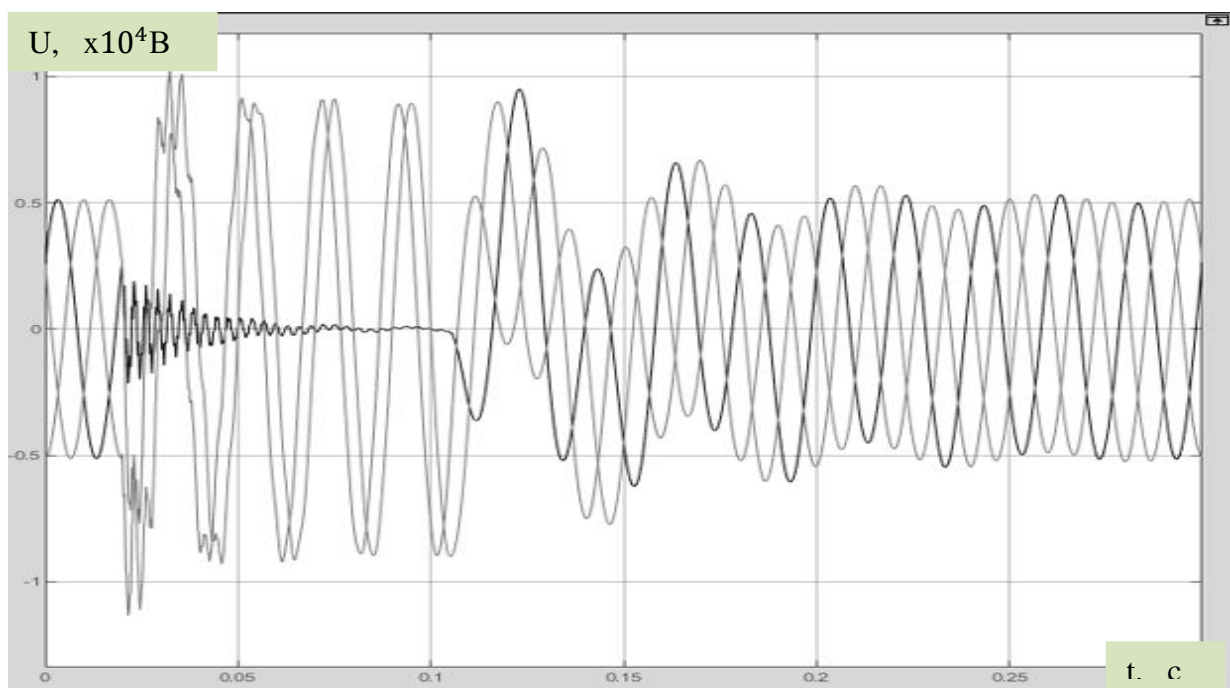


Рис. 2. Фазные напряжения при ОЗЗ 2СШ 6кВ ПС «Набережная» при установке в нейтраль параллельно ДГР резистора с сопротивлением 550 Ом, $kn=2.332$

Таблица 1

Расчетные значения кратностей перенапряжений при ОЗЗ в сети 6 кВ ПС «Набережная» при разных сопротивлениях высокоомного резистора, при комбинированном заземлении нейтрали

Сопротивление резистора, Ом	Кратность перенапряжений, о.е.
450	2,312
475	2,317
490	2,321
500	2,323
520	2,326
540	2,33
550	2,332
560	2,336
570	2,34
580	2,344
590	2,35
600	2,355

График зависимости кратности перенапряжений от сопротивлений резисторов по табл.2 представлена на рис.3.

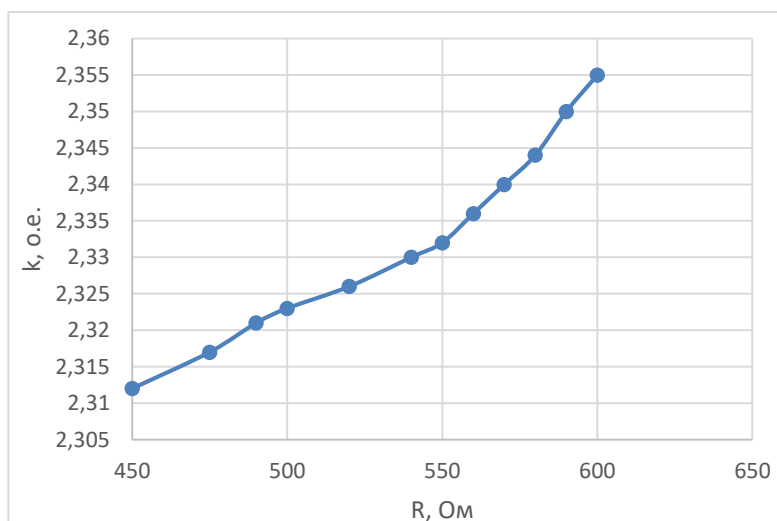


Рис. 3. Зависимость кратности перенапряжений от сопротивления резистора

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате расчета переходных процессов при ОЗЗ в сети 6 кВ, запитанной от ПС «Набережная», при переходе к комбинированному режиму заземления нейтрали можно заключить: выполненные расчетные исследования переходных процессов при дуговых ОЗЗ в сети 6 кВ ПС «Набережная» с включением параллельно ДГР силовых резисторов показали, что при установке резистора номиналов не более 550 Ом достигается достаточный уровень ограничения перенапряжений при дуговых ОЗЗ до уровня не более $2,332 U_{ф\max}$, не превышающего перенапряжений при первом пробое и относительно безопасного для изоляции оборудования, испытываемого согласно существующим требованиям. Осциллограммы также свидетельствуют об отсутствии феррорезонансных явлений при дуговых замыканиях в сети с ДГР и резисторами с расчетными сопротивлениями.

Резисторы меньшего сопротивления (например, 450 Ом) обеспечивают более глубокое ограничение перенапряжений, но также имеют более высокие массогабаритные показатели и являются более дорогостоящими, поэтому оптимальным является вариант использования резисторов типа РЗ-550-48-6-УХЛ1 с сопротивлением 550 Ом. Установка на каждой секции 6 кВ ПС «Набережная» резистора 550 Ом также позволит ограничить перенапряжения до зна-

чений не более $2,33 U_{\text{фmax}}$ при расстройках компенсации примерно до 18 % в каждой части сети 6 кВ.

Таким образом, для установки на каждой секции 6 кВ ПС «Набережная» необходимо применить резистор сопротивлением 550 Ом, рассчитанный на наибольшее рабочее напряжение 7,5 кВ, с допуском на сопротивление $\pm 10\%$ по ГОСТ 9664-74.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Релейная защита и автоматика [Электронный ресурс] URL: <https://samelectrik.ru/chto-takoe-relejnaya-zashhita.html>
2. **Жежеленко И.В.** Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. – М.: Энергоатомиздат, 2004. – 259 с. Литература
3. **Кискачи В.В.** Защита от однофазных замыканий на землю в сетях напряжением 6–10 кВ с различным режимом заземления нейтрали типа ЗЗН. – М.: ИПКгосслужбы, 2001. – 63 с.
4. **Шалин А.И., Политов Е.Н.** Защита от замыканий на землю, реагирующая на сопротивление и проводимость цепи нулевой последовательности / Электроэнергетика. Сборник научных трудов. Часть 1. Новосибирск, НГТУ, 2002. – С. 72–82.
5. **Jeff Roberts, Dr. Hector J. Altuve, and Dr. Daqing Hou.** Review of ground fault protection methods for grounded, ungrounded and compensated distribution systems. <http://www.Selcom>. 10.11.2003.
6. **Цапенко Е.Ф.** Замыкания на землю в сетях 6–35 кВ. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 128 с. Шуцкий В.И., Жидков В.О., Ильин Ю.Н. Защитное шунтирование однофазных повреждений электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 151 с.

ОБ АВТОРАХ

САФИН Артём Винарович, студент Уфимского университета науки и технологий.

METADATA

Title: On the application of incorporate permanent magnets in synchronous electric machines.

Authors: A. V. Safin¹

Affiliation:

¹ Ufa University of science and technology (UUST), Russia.

Email: ¹Saf.a0@mail.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), no. 2 (31), pp. 110-114, 2024. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: The collection and analysis of data from the Naberezhnaya substation was carried out, the overvoltage levels were determined for the existing neutral grounding mode, the calculation, analysis and selection of the required type of grounding was carried out, and the overvoltage levels for the most appropriate type of grounding were determined.

Key words: neutral, combined grounding, ground fault, capacitive current, resistor.

About authors:

SAFIN Artem Vinerovich, student of the Ufa University of Science and Technology.