
**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

УДК 621.316

**АНАЛИЗ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ПРОТЕКАНИЯ
УСТОЙЧИВОГО ФЕРРОРЕЗОНАНСНОГО ПРОЦЕССА В ЦЕПЯХ
24 КВ ГЕНЕРАТОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ЭНЕРГБЛОКОВ АЭС**

© 2018 С.А. Баран, В.В. Нечитайлов, В.В. Краснокутский

Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета МИФИ, Волгодонск, Ростовская обл., Россия

Сеть генераторного напряжения крупных энергоблоков эксплуатируются с изолированной нейтралью, и однофазное замыкание на землю в данных сетях не является коротким. Чаще всего защита от замыканий на землю действует на сигнал, но в ряде случаев происходит отключение цепи защитами. Анализ причин отключений энергоблоков действием защиты от замыкания на землю показал, что часть из них была ложной и произошла в результате появления в цепи устойчивых феррорезонансных процессов. Протекание феррорезонансных процессов возможно при определенном соотношении параметров электрической цепи. В работе рассматриваются граничные значения суммарной индуктивности и емкости цепи, при которых в цепи может возникнуть устойчивый феррорезонансный процесс, рассчитываются параметры схемы замещения энергоблока АЭС, рассматриваются осциллограммы процессов при однофазном замыкании на землю, производится выбор резистора для эффективного заземления нейтрали.

Ключевые слова: феррорезонанс, генераторное напряжение, изолированная нейтраль, трансформатор напряжения, перенапряжение.

Поступила в редакцию: 11.10.2018

В сети генераторного напряжения АЭС наблюдался ряд аварийных отключений энергоблоков от сети действием защиты от замыкания на землю. Согласно проведенным расследованиям аварийных ситуаций часть из них оказалась ложной. Часто причиной ложных аварий является появление в сети феррорезонансных явлений, вызванных коммутацией нагрузки, кратковременным появлением дугового замыкания, а также рядом других причин [1].

Рассмотрим схему типового энергоблока АЭС на примере блока № 2 Ростовской АЭС.

Турбогенератор с водородно-водяным охлаждением ТВВ-1000 связан через два трансформатора ТЦ-630000/500 с ОРУ 500 кВ, а также с РУ 6 кВ главного корпуса блока 2 через два трансформатора с расщепленными обмотками типа ТРДНС 63000/24/6,3.

Питание трансформаторов осуществляется по экранированному комплектному токопроводу с непрерывной оболочкой и принудительным воздушным охлаждением ТЭКНП.

Важной особенностью системы питания энергоблока №2 Ростовской АЭС на генераторном напряжении 24 кВ является наличие 7 трехфазных групп трансформаторов напряжения.

Две трехфазные группы трансформаторов напряжения типа ТJS7 с напряжением

обмоток $\frac{24000}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}$ В, соединение обмоток Y/Y/ Δ в составе генераторного выключателя НЕС-8. Установлены между обмоткой НН блочных трансформаторов и генераторным выключателем.

Две трехфазные группы трансформаторов напряжения типа ТЭС7 с напряжением обмоток $\frac{24000}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}$ В, соединение обмоток Y/Y/Y в составе генераторного выключателя НЕС-8. Установлены со стороны линейных вводов генератора.

Три трехфазные группы трансформаторов напряжения типа ЗНОЛ.06-24УЗ с напряжением обмоток $\frac{24000}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}$ В, соединение обмоток Y/Y/ Δ встроены в генераторный токопровод 24 КВ. Установлены со стороны линейных выводов генератора.

Нейтраль генератора со стороны нулевых выводов заземлена через один трансформатор напряжения типа ЗНОЛ.06-24УЗ напряжением $\frac{24000}{\sqrt{3}}/\frac{100}{\sqrt{3}}/100$ В.

Для наступления феррорезонанса в данной сети должно выполняться условие:

$$\frac{1}{\omega^2 \cdot L_{xx}} \leq C_{\text{экв}} \leq \frac{1}{\omega^2 \cdot L_s} \quad (1)$$

С учетом увеличения индуктивности за счет неполного насыщения в 1,3 раза формула расчета индуктивности насыщения записывается как:

$$L_s = 1,3 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \omega^2 \cdot \frac{d^2}{a} \cdot K_a \cdot \mu_0 \quad (2)$$

где ω – число витков первичной обмотки;

d – средний диаметр обмотки, м;

a – высота обмотки, м;

K_a – коэффициенты формы обмотки [2];

μ_0 – относительная магнитная проницаемость воздуха.

Трансформатор напряжения ЗНОЛ.06-24УЗ имеет следующие параметры обмоток:

число витков первичной обмотки – 21750;

внутренний диаметр первичной обмотки – 115 мм;

наружный диаметр первичной обмотки – 190 мм;

средняя высота обмотки – 96 мм

Коэффициент формы обмотки для трансформатора напряжения типа ЗНОЛ.06-24УЗ составляет $K_a=0,5815$, тогда

$$L_s = 1,3 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 21750^2 \cdot \frac{115^2}{96} \cdot 0,5815 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} = 54,23 \text{ Гн}$$

Индуктивность холостого хода может быть определена по формуле:

$$L_{xx} = \frac{U_{i0}}{\omega \cdot I_{xx}} \quad (3)$$

где I_{xx} – ток холостого хода трансформатора;

$U_{нф}$ – номинальное рабочее фазное напряжение трансформатора.

Рассчитаем индуктивность холостого хода:

$$L_{xx} = \frac{13856}{314 \cdot 0,26} = 169,73 \text{ Гн}$$

Тогда граничные условия соответственно:

$$59,76 \text{ нФ} \leq C_{экв} \leq 153,076 \text{ нФ}$$

Эти граничные условия соответствуют сети с одним ТН.

Ввиду отсутствия данных и схожести общих конструктивных соображений, примем для оценочного расчета, индуктивность намагничивания и холостого хода ЗНОЛ.06-24УЗ и ТН С7 равными [3].

Тогда для семи ТН:

$$418,30 \text{ нФ} \leq C_{экв} \leq 1073,56 \text{ нФ}$$

При нахождении суммарной емкости сети, близкой к данным значениям, возможно возникновение устойчивых феррорезонансных явлений [4].

Источником питания в рассматриваемой сети является генератор. Индуктивность рассеяния L_p и активное сопротивление R_r источника питания определяются по номинальным параметрам. Согласно паспортным данным, номинальное активное сопротивление обмотки генератора составляет 0,0011 Ом. При дуговом замыкании по фазам источника протекают свободные составляющие токов зарядных контуров, которые имеют большую частоту (несколько килогерц), поэтому активное сопротивление источника следует увеличить в 2-2,5 раза. Для моделирования переходных процессов сети реактивное сопротивление генератора рассчитывалось исходя из сверхпереходного сопротивления, которое составляет 0,324 о.е.

Генератор моделировался посредством готовых блоков из библиотеки элементов программы АТР ЕМТР [5], для которых задавались активные сопротивления и индуктивности обмоток. Также для рассматриваемых процессов большую роль играют паразитные емкости на землю. Согласно формуле, приведенной в [6], емкость для фазы обмотки статора генератора может быть рассчитана:

$$C_2 = \frac{k \cdot S}{1,2 \cdot \sqrt{U_{ном}} \cdot (1 + 0,08 \cdot U_{ном})}, \quad (4)$$

где $k = 0,0187$ при 15-20°C;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение;

S – номинальная мощность.

$$C_2 = \frac{0,0187 \cdot 1100}{1,2 \cdot \sqrt{24} \cdot (1 + 0,08 \cdot 24)} = 2,04 \text{ мкФ}$$

Индуктивность обмотки трансформатора определялась следующим образом:

$$L_{обм} = \frac{U_k}{100} \cdot \frac{U_{ном.обм.}^2}{S_{ном.обм.} \cdot \omega} \quad (5)$$

где U_k – напряжение короткого замыкания;
 $U_{ном.обм.}$ – номинальное напряжение обмотки трансформатора;
 $\omega = 100\pi$;
 $S_{ном.обм.}$ – номинальная мощность обмотки трансформатора.

$$R_{обм} = \Delta P_k \cdot \frac{U_{ном.}^2}{S_{ном.}^2}, \quad (6)$$

где P_k – потери короткого замыкания трансформатора.

Для блочного трансформатора ТЦ-630000/500:

$$U_{кв} = U_{кн} = U_k/2$$

$$U_{кв} = U_{кн} = \frac{14}{2} = 7\%$$

$$S_{ном.обм.} = S_{ном.}/3$$

$$S_{ном.обм.} = \frac{630}{3} = 210 \text{ MVA}$$

Тогда индуктивность и активное сопротивление обмоток:

$$L_{обмв} = \frac{7}{100} \cdot \frac{303,1^2}{210 \cdot 314} = 0,0974 \text{ Гн}$$

$$L_{обмн} = \frac{7}{100} \cdot \frac{24^2}{210 \cdot 314} = 6,115 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}$$

$$R_{обмв} = 0,605 \cdot \frac{303,1^2}{210^2} = 1,26 \text{ Ом},$$

$$R_{обмн} = 0,605 \cdot \frac{24^2}{210^2} = 0,0079 \text{ Ом},$$

Для трансформатора собственных нужд ТРДНС 63000/24/6,3

$$L_{обмв} = \frac{0,01(U_{квв} - 0,25U_{кнн})}{100} \cdot \frac{U_{ном.обм.}^2}{S_{ном.обм.}} \quad (7)$$

$$L_{обмн} = \frac{0,05U_{кнн}}{100} \cdot \frac{U_{ном.обм.}^2}{S_{ном.обм.}} \quad (8)$$

Активное сопротивление обмотки трансформатора рассчитывается по формуле (3).

$$L_{обмв} = \frac{0,01(U_{квв} - 0,25U_{кнн})}{100} \cdot \frac{U_{ном.обм.}^2}{S_{ном.обм.}}$$

$$L_{обмн} = \frac{0,05U_{кнн}}{100} \cdot \frac{U_{ном.обм.}^2}{S_{ном.обм.}}$$

Для блочного трансформатора ТЦ-630000/500:

$$S_{ном.обм.} = S_{ном}/3$$

$$S_{ном.обм.} = \frac{63}{3} = 21 \text{ МВА}$$

Тогда индуктивность и активное сопротивление обмоток:

$$L_{обмв} = \frac{0,01(12,7 - 0,25 \cdot 40)}{100} \cdot \frac{35^2}{21 \cdot 314} = 1,18 \cdot 10^{-5} \text{ Гн}$$

$$L_{обмн} = \frac{0,05 \cdot 40}{100} \cdot \frac{6,3^2}{21 \cdot 314} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$$

$$R_{обмв} = 0,605 \cdot \frac{35^2}{21^2} = 0,058 \text{ Ом},$$

$$R_{обмн} = 0,605 \cdot \frac{6,3^2}{21^2} = 0,0011 \text{ Ом},$$

Для расчета входной емкости трансформаторов были взяты формулы:

$$C_{вх} = \frac{C_2 \cdot C_{12}}{C_2 + C_{12}}$$

$$C_1 = 0,07 \frac{S_{ном}^{0,35}}{U_{г}^{0,175}}$$

$$C_2 = 1,3 \cdot \frac{\sqrt{S}}{U_n + 13 + 0,2 \cdot \sqrt{S}}$$

$$C_{12} = \frac{\sqrt{S}}{U_{г}}$$

Для блочного трансформатора ТЦ-630000/500:

$$C_1 = 0,07 \frac{630^{0,35}}{535^{0,175}} = 0,223 \text{ мкФ}$$

$$C_2 = 1,3 \frac{\sqrt{630}}{24 + 13 + 0,2 \sqrt{630}} = 0,776 \text{ мкФ}$$

$$C_{12} = \frac{\sqrt{630}}{535} = 0,047 \text{ мкФ}$$

$$C_{вх} = \frac{0,776 \cdot 0,047}{0,776 + 0,047} = 0,266 \text{ мкФ}$$

Для трансформатора ТРДНС-63000/35:

$$C_1 = 0,07 \frac{63^{0,35}}{35^{0,175}} = 0,16 \text{ мкФ}$$

$$C_2 = 1,3 \frac{\sqrt{63}}{6,3 + 13 + 0,2\sqrt{63}} = 0,494 \text{ мкФ}$$

$$C_{12} = \frac{\sqrt{63}}{35} = 0,226 \text{ мкФ}$$

$$C_{\text{ex}} = \frac{0,494 \cdot 0,226}{0,494 + 0,226} = 0,315 \text{ мкФ}$$

Параметры токопровода рассчитаны при помощи программы АТР ЕМТР. Для расчета заданы реальные параметры материалов и геометрия токопровода. В результате были получены параметры для каждого участка токопровода сети генераторного напряжения.

Генераторный выключатель в схеме замещения учитывался емкостью встроенных в него конденсаторов (рис. 1), принятой равной 132 нФ со стороны генератора и 260 нФ со стороны силового трансформатора.

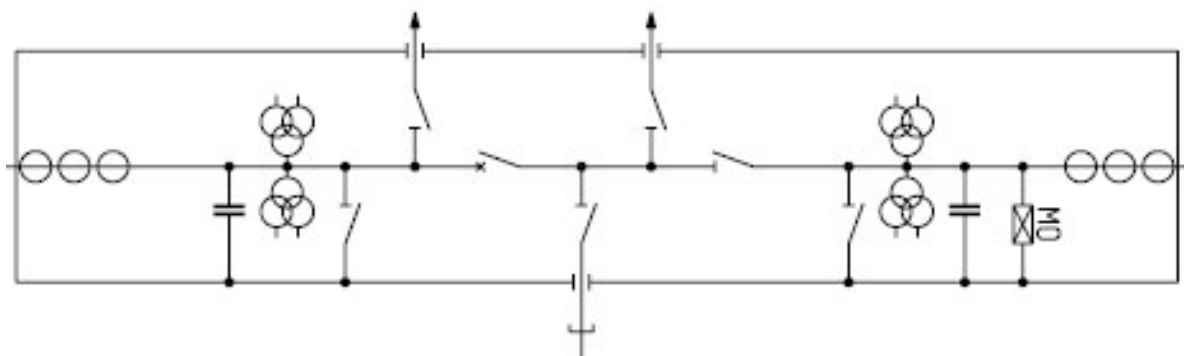


Рисунок 1 – Схема устройства генераторного выключателя НЕС 8
[Scheme of HEC 8 generator switcher]

При рассмотрении аварийных режимов требуется учитывать влияния магнитных систем трансформаторов напряжения. В ходе сбора данных были получены данные от производителей о геометрии сердечника, числе витков обмоток, общей конструкции и магнитной характеристике трансформатора. Большое активное сопротивление первичной обмотки ТН является характерной особенностью измерительных трансформаторов напряжения [7-8]. Согласно полученным данным активное сопротивление первичной обмотки было принято для ЗНОЛ.06-24УЗ3 – 3500 Ом, для ТЭС7 – 3000 Ом.

Нелинейная индуктивность в цепи намагничивания учитывается зависимостью напряжения от тока первичной обмотки ТН типа ТЭС7 и ЗНОЛ.06-24УЗ, представленных в таблицах 1 и 2 и на рисунках 2 и 3.

Одним из важных факторов в процессе развития и протекания феррорезонансных явлений является вторичная нагрузка ТН. В связи с этим нагрузка задавалась в виде активно-индуктивной нагрузки согласно назначению ТН. Мощность нагрузки задавалась исходя из полной номинальной мощности [9].

Таблица 1 – Кривая намагничивания трансформатора напряжения ТЈС7 [Magnetization curve of voltage transformer ТЈС7]

I, мА	0,028	0,056	0,084	0,14	0,2	0,28	0,42	0,56	0,84	1,12
U, В	162	325	553	1040	1463	2454	3169	5364	9103	12842
I, мА	1,41	1,95	2,8	3,36	4,2	5,61	7,02	8,41	11,23	
U, В	17978	22189	26155	27309	28041	29244	29910	30138	30866	

Таблица 2 – Кривая намагничивания трансформатора напряжения ЗНОЛ.06-24У3 [Magnetization curve of voltage transformer ЗНОЛ.06-24У3]

I, мА	0,95	1,23	1,26	1,47	1,74	2,08	2,4	2,66	3,04	3,74	6,79	24,74	129,4	184
U, В	11,4	57	60	70	80	90	95	100	105	110	120	130	140	144

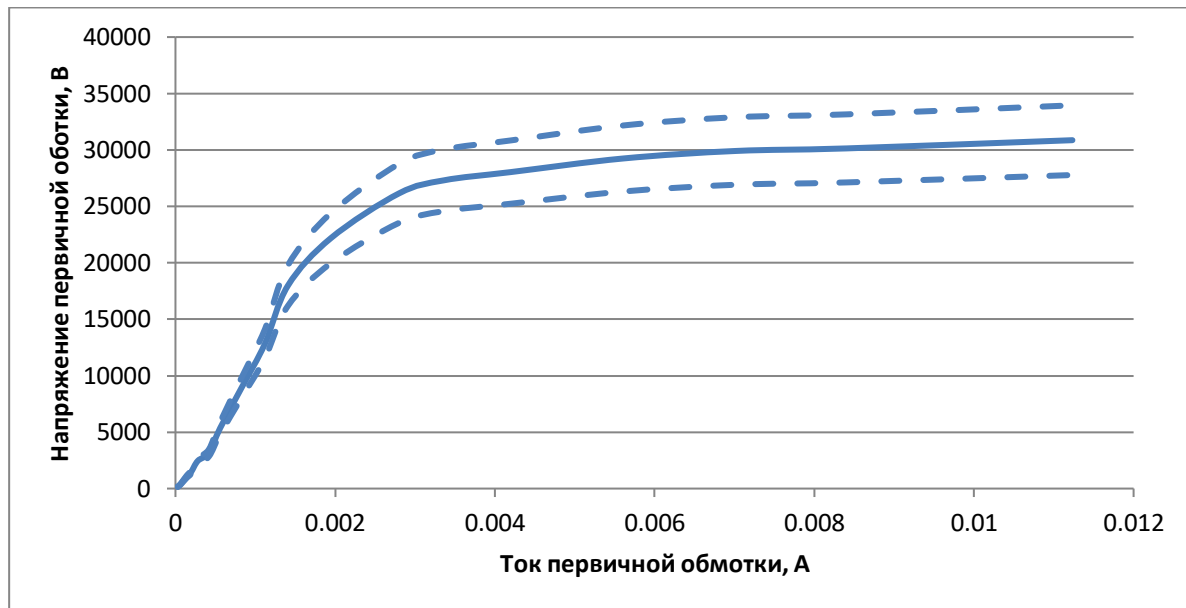


Рисунок 2 – Номинальная кривая намагничивания (сплошная линия) и кривые намагничивания с разбросом (пунктирные линии) трансформатора напряжения ТЈС7 [Nominal magnetization curve and magnetization curve with a spread of voltage transformer ТЈС7]

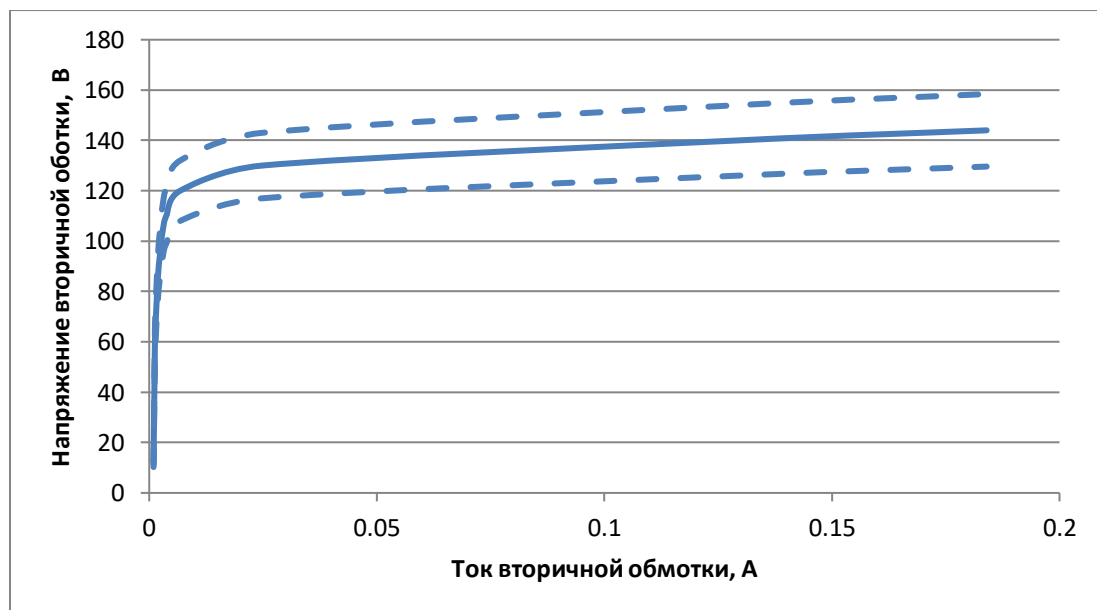


Рисунок 3 – Номинальная кривая намагничивания (сплошная линия) и кривые намагничивания с разбросом (пунктирные линии) трансформатора напряжения ЗНОЛ.06-24У3 [Nominal magnetization curve and magnetization curve with a spread of voltage transformer ЗНОЛ.06-24У3]

За счет неточного исполнения геометрических размеров сердечника и несоответствия стали магнитопровода номинальным характеристикам намагничивания заводская кривая намагничивания может иметь некоторый разброс [10], поэтому для каждого трансформатора напряжения задается 10 % разброс кривой намагничивания.

После моделирования сети в программной среде АТР ЕМРТ были получены осциллограммы переходных процессов при однофазных замыканиях на землю. Осциллограммы представлены на рисунке 4.

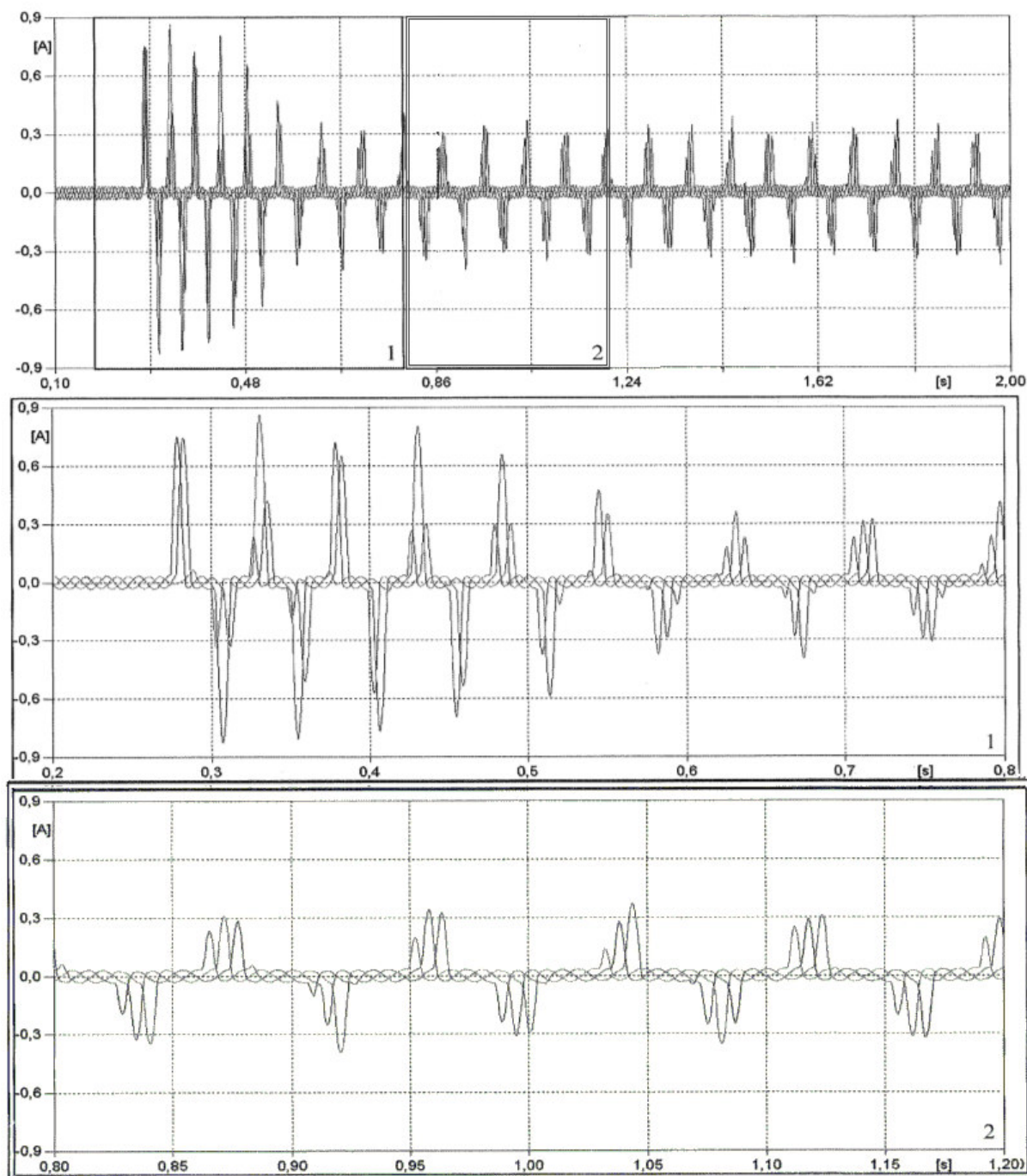


Рисунок 4 – Осциллограммы фазных токов в обмотках ТН при возникновении ОЗЗ в сети генераторного напряжения с изолированной нейтралью [Oscillograms of phase currents in voltage transformer winding for single-phase line-to-ground fault in generator voltage network with isolated neutral]

После прохождения через ноль тока промышленной частоты замыкание ликвидировалось, и в обмотке возник устойчивый феррорезонансный процесс с амплитудой броска тока 0,3 А.

В качестве меры ликвидации опасных последствий феррорезонансного процесса было принято заземление нейтрали сети через активное сопротивление [11-12]. Величина сопротивления была подобрана опытным путем согласно таблице 3 и рисунку 5.

Таблица 3 – Зависимость уровня перенапряжения при однофазных замыканиях от номинального сопротивления резистора в нейтрали [The dependence of the level of overvoltage in single-phase circuits of the nominal resistance of the resistor in the neutral]

Сопротивление резистора, Ом	Величина тока ОЗЗ, А	Уровень перенапряжений	Степень наличия феррорезонанса
10000	24,52	2,79	устойчивый
7500	24,56	2,74	устойчивый
5000	24,64	2,68	неустойчивый
2500	25,11	2,32	отсутствует
1000	28,14	2,31	отсутствует

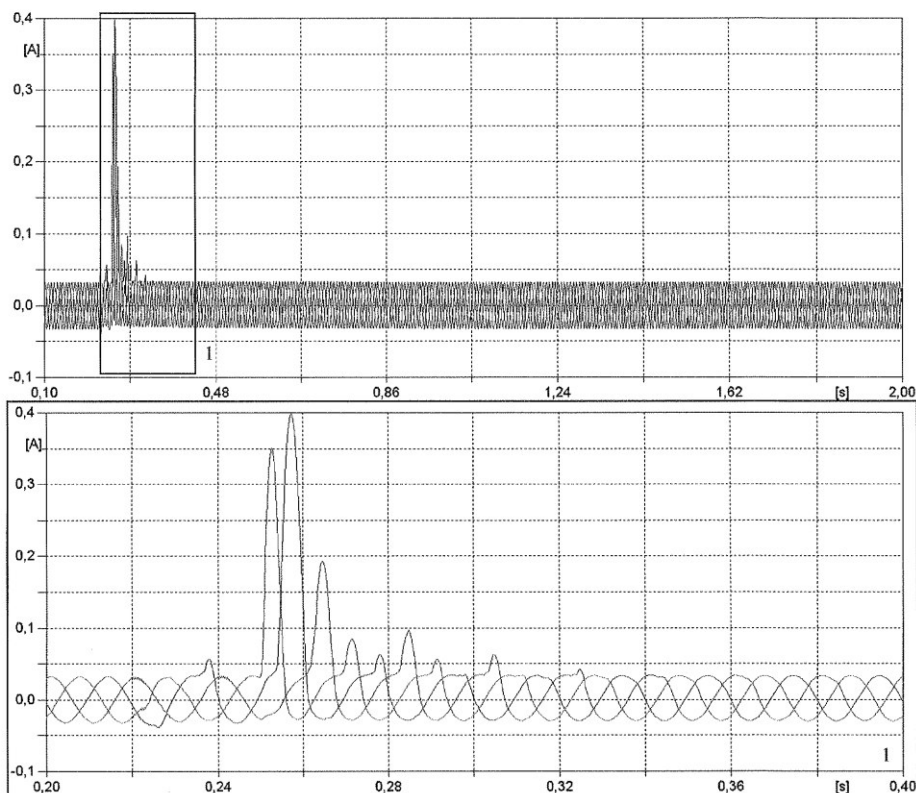


Рисунок 5 – Осциллограммы фазных токов в обмотках ТН при возникновении ОЗЗ в сети генераторного напряжения с резистивным заземлением нейтрали через сопротивление 2500 Ом [Oscillograms of phase currents in voltage transformer winding for single-phase line-to-ground fault in generator voltage network with grounded through 2500 Ohm resistor neutral]

Исходя из приведенных осциллограмм и табличных данных можно рекомендовать для устранения феррорезонансных процессов заземлить нейтраль через резистор 2500 Ом. Возникновение феррорезонанса в цепях 24 кВ генераторного напряжения энергоблоков АЭС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баран, С.А. Возникновение феррорезонанса в цепях 24 кВ генераторного напряжения энергоблоков АЭС [Текст] / С.А. Баран, В.В. Нечитайлов, В.В. Краснокутский // Глобальная ядерная безопасность. – 2018. – № 2. – С. 56-65.
2. Калантаров, П.Л. Расчет индуктивностей [Текст] / П.Л. Калантаров, Л.А. Цейтлин. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1986. – 488 с.
3. Алексеев, В.Г. Феррорезонанс в сетях 6-10 кВ [Текст] / В.Г. Алексеев, М.Х. Зихерман // Электрические станции. – 1978. – № 1. – С. 63-65.
4. Эль-Хатиб, А.И. Феррорезонансные процессы в трансформаторах напряжения систем электроснабжения и способы их предотвращения: автореф. дис. канд. техн. наук [Текст] – А.Е. Эль-Хатиб. – Донецк, 1992. – 28 с.
5. Селиванов, В.Н. Использование программы расчета электромагнитных процессов АТР-ЕМРТ в учебном процессе [Текст] / В.Н. Селиванов // Вестник МГТУ. – 2009. – № 1. – С. 107-112.
6. Иваницкий, В.А. Моделирование перенапряжений в сетях электроснабжения с изолированной нейтралью [Текст] / В.А. Иваницкий, М.Е. Тюленев – Москва: НТП «Виращ-центр». – 2006. – 79 с.
7. Петров, О.А. Смещение нейтрали при пофазных отключениях и обрывах фаз в компенсированной сети [Текст] / О.А. Петров // Электрические станции. – 1972. – № 9. – С. 57-61.
8. Халилов, Ф.Х. Еще раз о дуговых перенапряжениях в распределительных сетях 6-35 кВ [Текст] / Ф.Х. Халилов // Промышленная энергетика. – 1985. – № 11. – С. 37-41.
9. Лихачев, Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов [Текст] / Ф.А. Лихачев. – Москва: Энергия, 1971 – 152 с.
10. Халилов, Ф.Х. Перенапряжения в сети 6-35 кВ / Ф.Х. Халилов и др. – Москва: Энергоатомиздат. – 1989. – 192 с.
11. Сирота, И.М. Защита от замыканий на землю на стороне генераторного напряжения блоков генератор-трансформатор, охватывающая нейтраль генератора [Текст] / И.М. Сирота, А.Е. Богаченко. – Киев : Изд-во ИЭД АН УССР, 1972. – 21с.
12. Халилов, Ф.Х. Защита сетей 6-35 кВ от перенапряжений [Текст] / Ф.Х. Халилов и др. – Санкт-Петербург : Энергоатомиздат. – 2002. – 216 с.

REFERENCES

- [1] Baran S.A., Nechitajlov V.V., Krasnokutskij V.V Vozniknovenie ferrozonansa v setyax 24 kV generatornogo napryazheniya e`nergoblokov AE'S [Ferroerezonans Emergency in the 24 kW Generator Voltage Circuits of NPP Units] [Global Nuclear Safety]. 2018. № 2 (27). P. 56-65 (in Russian).
- [2] Kalantarov P.L., Cejtlin L.A. Raschet induktivnostej [Calculation of Inductances]. Leningrad. Pub. Energoatomizdat [Electroatomizdat]. 1986. 488 p. (in Russian).
- [3] Alekseev V.G., Ziherman M.H. Ferrorozonans v setyax 6-10 kV [Ferroresonance in 6-10 kW Networks]. [Electric Stations], 1978. №1. P. 63-65. (in Russian).
- [4] Jel-Hatib A.I. Ferrorozonansny`e processy` v transformatorax napryazheniya sistem e`lektrosnabzheniya i sposoby` ix predotvrashheniya [Ferroresonance Processes in Voltage Transformers of Power Supply Systems and Ways to Prevent Them]. Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskix nauk [Theses of PhD in Engineering]. Donetsk. Pub. Donskoj politehniceskij institute [Don Polytechnic Institute]. 1992. 28 p. (in Russian).
- [5] Selivanov V.N. Ispol`zovanie programmy` rascheta e`lektromagnitny`x processov ATR-EMPT v uchebnom processe [Using the Program for Calculating the Electromagnetic Processes ATP-EMPT in the Education Process] [Herald of the Bauman MSTU]. 2009. №.1. P. 107-112.
- [6] Ivanickiy V.A. Modelirovanie perenapryazhenij v setyax e`lektrosnabzheniya s izolirovannoj nejtral`ju [Modeling of Overvoltages in Power Supply Systems with Isolated Neutral] [Moscow: "Virage Center" Scientific Technical Enterprise]. 1986. 488 p.
- [7] Petrov O.A. Smeshhenie nejtrali pri pofazny`x otklyucheniyax i obry`vax faz v kompensirovannoj seti [The Neutral Bias for Phase-Out Tripping and Phase Failure in Compensated Network]. Elektricheskie stancii [Electric Stations]. 1972. № 9. P. 57-61. (in Russian).
- [8] Halilov F.H. Eshhe raz o dugovy`x perenapryazheniyax v raspredelitel`ny`x setyax 6-35 kV [Once Again about Arc Overvoltages in Distribution Networks 6-35 kW.]. Promyshlennaja energetika [Industrial Power Engineering]. 1985. № 11. P. 37-41. (in Russian).
- [9] Lihachev F.A. Zamy`kaniya na zemlyu v setyax s izolirovannoj nejtral`ju i s kompensaciej

- emkostny`x tokov [Ground Faults in Networks with Isolated Neutral and with Compensation of Capacitive Currents]. M. Pub. Energija [Energy]. 1971. 152 p. (in Russian).
- [10] Gindullina F.A., Goldshtejn V.G., Duzolzon A.A., Halilov F.H. Perenapryazheniya v seti 6-35 kV [Overvoltages in 6-35 kW Network]. M. Pub. Energoatomizdat [Electroatomizdat]. 1989. 192 p. (in Russian).
- [11] Sirota I.M., Bogachenko A.E. Zashhita ot zamy`kanij na zemlyu na storone generatornogo napryazheniya blokov generator-transformator, oxvaty`vayushhaya nejtral` generatora [Earth-Fault Protection on the Generator Voltage Side of Generator-Transformer Blocks Covering the Generator Neutral]. Kiev. Pub. IED AN USSR [IED Academy of Sciences of the Ukrainian SSR]. 1972. 21 p. (in Russian).
- [12] Halilov F.H., Evdokunin G.A., Poljakov V.S. etc. Zashhita setej 6-35 kV ot perenapryazhenij [Protection of 6-35 kW Overvoltage Networks]. Sankt-Peterburg. Pub. Energoatomizdat [Electroatomizdat]. 2002. (in Russian).

Analysis of Boundary Conditions of Sustainable Ferrosontic Process Flow in 24 KW Chains of Generator Voltage of NPP Power Units

S.A. Baran, V.V. Nechitajlov, V.V. Krasnokutskij

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University "MEPhI",
Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

¹ *ORCID: 0000-0002-3232-4072*

WoS Researcher ID: I-7933-2018

e-mail: bastr@rambler.ru

² *ORCID: 0000-0002-6795-2458*

WoS Researcher ID: J-3646-2018

e-mail: VITkafAE@mephi.ru

³ *ORCID: 0000-0002-4498-2996*

WoS Researcher ID: I-4045-2018

e-mail: leronil@mail.ru

Abstract – The network generator voltage is operated using with isolated neutral, and line-to-ground fault is not short circuit. Ground-fault protection more often works on signal, but in some cases shutdown network protection occurs. Analysis of the causes of power unit shutdowns by the action of ground-fault protection showed that some of them were false and occurred as a result of the appearance of stable ferroresonance processes in the circuit. Passing of ferroresonance processes is possible at a certain ratio of the parameters of the electrical circuit. The paper deals with the boundary values of the total inductance and capacitance of the circuit, in which a stable ferroresonance process can occur in the circuit, the parameters of the equivalent circuit of the NPP power unit are calculated, the oscillograms of processes in a single-phase ground fault are considered, the resistor is selected for effective grounding of the neutral.

Keywords: ferroresonance, generator voltage, isolated neutral, voltage transformer, overvoltage.