УДК 621.311

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ ГЕОИНДУЦИРОВАННЫХ ТОКОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ПРИ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЯХ

–––––––

RESEARCH AND CALCULATION GEO INDUCED CURRENTS IN POWER LINES

Самородов Александр Валерьевич
кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электрических машин,
Кубанский государственный технологический университет
Alex.Samorodoff@gmail.com

Копелевич Лев Ефимович
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электротехники и электрических машин,
Кубанский государственный технологический университет
kkllev@mail.ru

Ампар Дамир Леварсович
студент,
Кубанский государственный технологический университет
damir.ampar@list.ru

Крутенко Елена Сергеевна
студентка,
Кубанский государственный технологический университет
elenakrutenko.96@mail.r

Alexander Samorodov Valeryevich
Candidate of technical sciences,
Associate professor, department of electrical engineering and electrical machines,
Kuban state technological university
jlms@mail.ru

Kopelevich Lev Efimovich
Candidate of technical sciences,
Associate professor, department of electrical engineering and electrical machines,
Kuban state technological university
kkllev@mail.ru

Damir Ampar Levarsovich
Student,
Kuban state technological university
damir.ampar@list.ru

Krutenko Elena Sergeevna
Student,
Kuban state technological university
elenakrutenko.96@mail.ru

Аннотация. Были проведены исследования электрических сетей Краснодарская ТЭЦ – подстанция Яблонская, проведены расчеты геоиндуцированных токов ЛЭП при максимальном значении эквивалентного расстояния между трансформаторными подстанциями и расчеты потерь мощностей на подстанции; определено влияние потерь в результате ГИТ на стоимость электроэнергии.

Ключевые слова: геоиндуцированные токи, геомагнитные бури, трансформаторы, потери, системы электроснабжения, трансформаторная подстанция, линии электропередач, емкостное заземление нейтралей.

Annotation. There were done calculations of geo included currents in electrical networks Krasnodar thermal power plant – power station Yablonsky with a maximum value equivalent of the distance between the transformer stations,losses of the substation; the determine of the impact of electricity cost losses were made.

Keywords: geo included currents, geo included storms, transformer stations, electrical losses, electrical power system, electrical lines, vessel grounded neutral.

Геомагнитные бури (ГМБ) – возмущение в магнитном поле земной оболочки, являющиеся результатом высокоскоростных потоков, испускаемых Солнцем в периоды его наибольшей активности. Интенсивность и частота ГМБ зависит от цикла солнечной активности, составляющего 11лет.

Во время ГМБ возмущения геомагнитного поля создают на поверхности Земли электрические поля длительностью намного большего периода (0,02 с) по сравнению с рабочей частотой электрической сети – квазистационарные поля напряженностью от 1 до 20 В/км. Геоиндуцированные токи осуществляют одностороннее подмагничивание магнитной системы силовых трансформаторов, что приводит к смещению рабочей точки на кривой намагничивания за пределы линейной части петли гистерезиса. По сравнению с несущей частотой передачи электроэнергии в 50 или 60 Гц, частоты ГИТ очень малы (f = 0,1 – 0,0001 Гц) и система реагирует на них как на постоянный ток [1].

Происходит увеличение потоков рассеяния, возникают однополупериодные искажения и многократное увеличение амплитудных значений токов намагничивания по сравнению с током холостого хода. Увеличение потоков рассеяния вызывает дополнительные потери активной мощности от вихревых токов в массивных металлических конструкциях и обмотках силового трансформатора. Дополнительные потери активной мощности вызывают дополнительный нагрев изоляции, масла, появление

газов, и т.д. Однополупериодные искажения кривой тока намагничивания приводят к появлению высших гармонических составляющих тока и напряжения в СЭС, что вызывает нарушение работы релейной защиты и противоаварийной автоматики, устройств регулирования нагрузки [2].

В качестве исследуемого объекта была выбрана линия электропередач ПС 220 кВ «Яблоновская» (по адресу: Республика Адыгея, п. Яблоновский) – Краснодарская ТЭЦ (по ул. Трамвайная, 13, г. Краснодар, Краснодарского края). Общая протяженность ЛЭП составила 16 км. Общая мощность (трансформаторная) – 250 МВА [3].

Расчет ГИТ проведен для участка системы электроснабжения с одной воздушной ЛЭП. Обмотки ВН силовых трансформаторов Т1 и Т2 соединены по схеме Y и заземлены в точках А и В. Упрощенная схема замещения участка СЭС для расчета ГИТ представлена на рисунке 1.

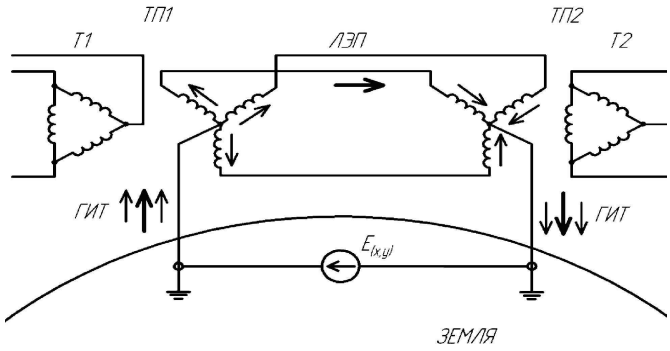

Рисунок 1 – Схема проникновения ГИТ в нейтраль силового трансформатора

Активное сопротивление земли между заземленными нейтралями силовых трансформаторов Т1 и Т2 определили по формуле:

$$R_З = r_{30} \times l, \tag{1}$$

где r_{30} – активное погонное (удельное) сопротивление грунта земли; l – расстояние между Т1 и Т2.

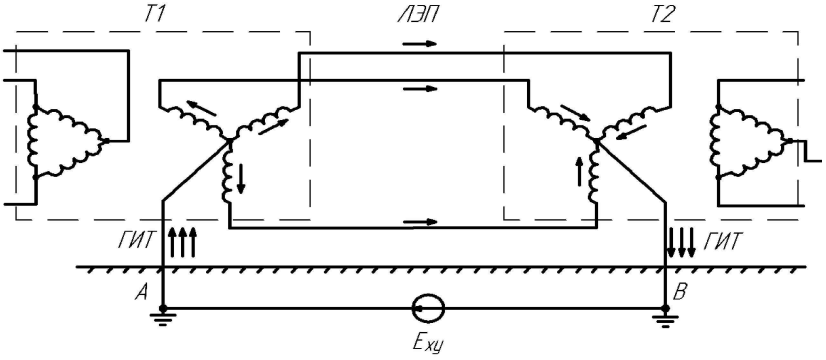

Рисунок 2 – Упрощенная схема замещения участка СЭС для расчета ГИТ

Суммарное сопротивление для контура протекания геоиндуцированных токов вывели из уравнения:

$$R_\Sigma = \frac{R_A + R_B + R_C}{3} + 2R_{ЗУ} + R_З\,. \tag{2}$$

Значение ГИТ в электрической сети определили, как:

$$I_{ГИТ} = \frac{E_{xy}}{R_\Sigma}\,. \tag{3}$$

Расчет геоиндуцированных токов провели для частного случая, когда воздействия вектора напряженности геоэлектрического поля максимально, т.е направление вдоль ЛЭП (α = 0 или α = π, $L^*_Э$ = ±1) [2]. Рассмотрены варианты значений ГИТ в фазе с шагом напряженности в 5 В/км. На рисунке 3 приведены расчетные значения геоиндуцированных токов в фазах воздушных ЛЭП для различных классов напряжений при геомагнитной буре.

Рассчитали потери активной мощности на обмотке (кВт) в автотрансформаторе. Расчеты потерь с учетом влияния ГИТ приведены в таблице 1. Для оценки потерь мощности, воспользовались методикой определения электроэнергии по суммарной длине электрических сетей, средним удельным потерям электроэнергии на 1км длины для средней загрузки характерных сетей.

Средние удельные нагрузочные потери мощности на 1 км линии в часы максимума нагрузки энергосистемы, рассчитали по формуле:

$$\Delta P_{НУ} = 3 \cdot \left(\frac{S_{НОМ\,(ср)} \cdot k_{ЗГ(ср)}}{\sqrt{3 \cdot U}} \cdot k_p \right)^2 \cdot R_0 , \qquad (4)$$

где $S_{НОМ(ср)}$ – средняя мощность трансформатора; $k_{ЗГ(ср)}$ –средняя загрузка трансформатора в максимум нагрузки, принимаем равным 0,4; k_P –коэффициент распределения нагрузки по длине сети; R_0 –удельное сопротивление линии с маркой провода.

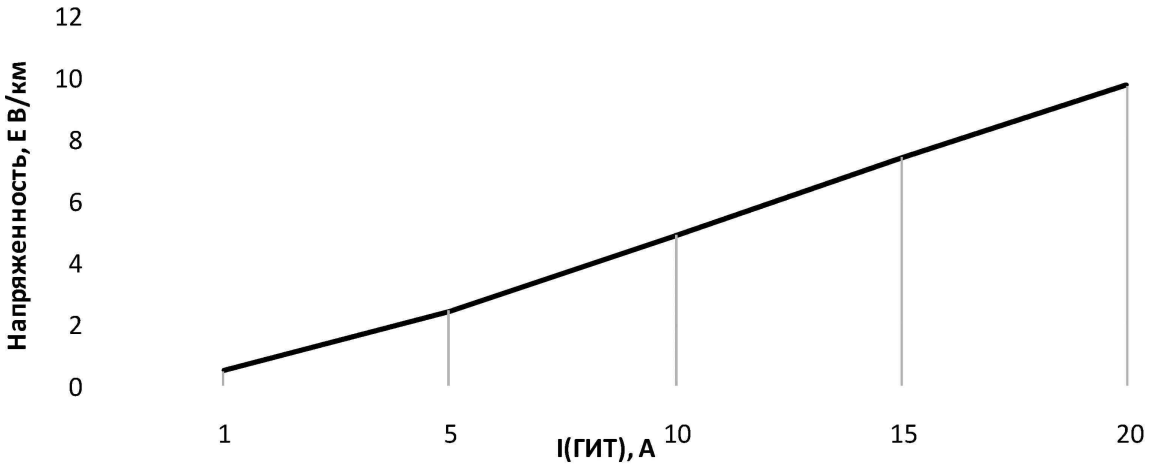

Рисунок 3 – Зависимость ГИТ от напряженности геоэлектрического поля

Используя паспортные данные трансформатора, а также справочные материалы [2], рассчитали затраты на потери мощности по формулам:

$$C_1 = \beta \cdot \Delta W \cdot 10^{-5} , \qquad (5)$$

где C_1 – стоимость потерянной электроэнергии в трансформаторе, тыс. руб.; β – стоимость 1 кВт • ч потерь электроэнергии; ΔW – потери электроэнергии, кВт • ч.

Таблица 1. Зависимость потерь электроэнергии, затрат от значений ГИТ

Потери в трансформаторе (кВа)	Потери электроэнергии (МВА)	Затраты на потери мощности (руб.)
0,658	395	177
0,659	396	178
0,664	397	179
0,680	398	179
0,707	400	180
0,742	403	181

Для избежание потерь на ЛЭП был предложен способ емкостного заземления нейтрали [4].

Литература:

1. Алексеев Б.А. Системные аварии и меры по их предупреждению // Электрические станции : Ежемесячный производственнотехнический журнал. – 2005. – № 4. – С. 78–83.
2. Вахнина В.В. Влияние геоиндуцированных токов на насыщение магнитной системы силовых // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2012. – № 3(21). – С. 65–69.
3. Трансформаторы силовые : ГОСТ 30830-2002. – ИПК «Издательство стандартов». – С. 1–27.
4. Кузнецов В.А. Влияния геомагнитных бурь на баланс мощностей в электроэнергетических системах : сборник трудов Международной научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2012. – С. 292–295.

References:

1. Alekseev B.A. System accidents and measures for their prevention//Power plants : Monthly proizvodstvennotekhnichesky magazine. – 2005. – No. 4. – P. 78–83.

2. Vakhnina V.V. Influence of the geoinduced currents on saturation of magnetic system power // the Vector of science of the Tolyatti state university. – 2012. – No. 3 (21). – P. 65–69.
3. Transformers are power : GOST 30830-2002. – IPK «Standards Publishing House». – P. 1–27.
4. Smiths of VA. Influences of geomagnetic storms on balance of capacities in electrical power systems : collection of works of the International scientific and technical conference of students, undergraduates, graduate students. – Togliatti : TGU publishing house, 2012. – P. 292–295.