

ЗАЩИТА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ОТ ТОКОВ ГЕОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ (по материалам СИГРЭ-2024)

Часть 1

Хренников А. Ю., доктор техн. наук

АО «Россети НТЦ», Москва

Самарский государственный технический университет, г. Самара

ak2390@inbox.ru; www.ntc-power.ru

Кувшинов А. А., доктор техн. наук

Вахнина В. В., доктор техн. наук

Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти

Показано, что геомагнитные бури представляют реальную угрозу для электроэнергетических систем не только Арктической зоны России, но и территорий средних широт в связи с многолетним природным трендом смещения магнитного полюса с территории Канады в направлении российского сектора Арктики. Определены основные недостатки известных систем резистивного заземления нейтрали силового трансформатора для защиты от воздействия геоиндуцированных токов, заключающиеся в необходимости использования дополнительного разнородного электрооборудования для защиты заземляющего резистора от токов однофазных коротких замыканий и изоляции нейтрали от перенапряжений. Предложены количественные критерии, позволяющие выбирать сопротивление заземляющего резистора, обеспечивающее ограничение геоиндуцированных токов до безопасного для силового трансформатора уровня, не вызывающее насыщение магнитной системы. Сформулированы требования к системе резистивно-тиристорного заземления нейтрали силового трансформатора с учетом ограничений, накладываемых нормативными документами на заземляющие устройства. Разработана система резистивно-тиристорного заземления нейтрали с автоматическим переходом в режим резистивного заземления при насыщении магнитной системы под воздействием геоиндуцированных токов и возвратом в режим глухозаземленной нейтрали после прекращения геомагнитной бури. Представлены результаты полевых испытаний канала мониторинга геоиндуцированных токов в нейтрали силового трансформатора 135 МВА 500/13,8 кВ ГЭС в период геомагнитной бури.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, приполярные районы, геоиндуцированный ток, силовой трансформатор, резистивно-тиристорное заземление нейтрали.

Оглавление

Предисловие	7
ГЛАВА ПЕРВАЯ. Проблематика возникновения геомагнитных бурь	12
ГЛАВА ВТОРАЯ. Геомагнитные возмущения в электроэнергетических системах	14
2.1. Общие положения	14
2.1. Экстремальные геомагнитные бури в истории Земли и их воздействие на проводящие технологические системы	16
2.3. Восприимчивость энергосистем к геомагнитным возмущениям.	24
ГЛАВА ТРЕТЬЯ. Геомагнитные возмущения — отрицательное влияние на электроэнергетические системы и другие технологические системы.	29
3.1. Общие положения	29
3.2. Электроэнергетические системы	30
3.3. Нарушения при эксплуатации силовых трансформаторов в приполярных (авроральных) широтах	33
3.4. Кабельные, телефонные и телеграфные линии	35
3.5. Железнодорожное оборудование	36
3.6. Трубопроводы	39
3.7. «Неожиданные» геоиндуцированные токи на средних и низких широтах	45
3.8. Основные методы регистрации геоиндуцированных токов	45
3.9. Оценка экономического ущерба от воздействия геоиндуцированных токов	46

3.10. Механизм проникновения ГИТ в токопроводящие системы и силовые трансформаторы через глухозаземлённую нейтраль	48
ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ. Регистрация геоиндуцированных токов в Кольской энергосистеме России	53
ГЛАВА ПЯТАЯ. Исследования частоты появления геоиндуцированных токов на линии электропередачи 500 кВ в Британской Колумбии (Канада)	61
5.1. Энергосистема В. С. Hydro. Линия электропередачи 500 кВ В. С. Hydro	62
5.2. Анализ данных регистрации ГИТ	64
5.3. Сравнение наблюдений ГИТ в высоких широтах	71
5.4. Обсуждение результатов наблюдений ГИТ в Британской Колумбии	74
ГЛАВА ШЕСТАЯ. Влияние геомагнитных индуцированных токов на электрическую сеть Японии	77
6.1. Основные понятия	77
6.2. Наблюдения за возникновением ГИТ в Японии	78
6.2. Примеры ГИТ, связанные с геомагнитными бурями	81
6.3. Примеры возникновения ГИТ, связанных с полярным сиянием	83
6.4. Пример ГИТ, связанного с геомагнитной пульсацией.	84
6.5. Рассмотрение результатов измерений ГИТ.	84
ПРИЛОЖЕНИЕ. Магнитные возмущения, которые повлияли на электрические системы на поверхности Земли	88
Список литературы	92