

УДК 53.08

ВЛИЯНИЕ ГЕОИНДУЦИРОВАННЫХ ТОКОВ НА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Дарья Сергеевна Гильдунина

*Студент 4 курса, бакалавриат**кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: А. С. Кошкин,**Доктор технических наук, профессор кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»*

Аннотация: Рассмотрен механизм появления геоиндуцированных токов, их влияние на объекты и оборудование электроэнергетических систем. Определена необходимость регистрации геоиндуцированных токов. Предложен комплексный подход для определения наличия геоиндуцированных токов в сети и измерения параметров его влияния на оборудование электростанций. Разработана методика испытаний для средств измерения гармонических составляющих.

Ключевые слова: космическая погода, геоиндуцированные токи, электроэнергетические системы, высшие гармоники, методика испытаний.

В последнее время все больший интерес вызывает влияние космической погоды на технологические объекты и системы. Под термином «космическая погода» понимается совокупность явлений и процессов, происходящих на Солнце, в околоземном космическом пространстве, магнитосфере, ионосфере и верхней атмосфере Земли, влияющих на функционирование технических средств и систем [1].

Основное влияние космическая погода оказывает на такие технические средства и системы как навигация, связь, электроэнергетика, радиационная безопасность при авиaperелетах, эксплуатация трубопроводов, бурение скважин (рисунок 1).

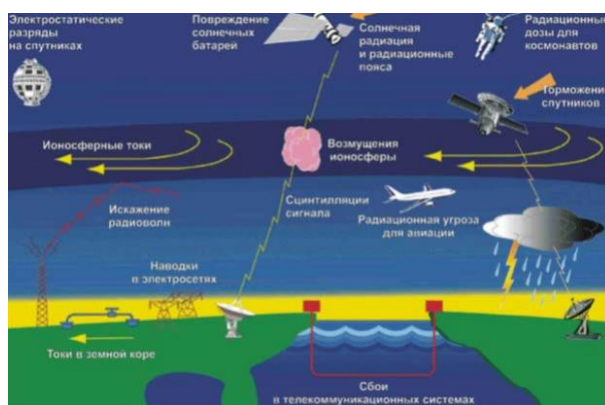


Рисунок 1 – Влияние космической погоды на технические средства и системы

На современную энергетику большое влияние оказывают геоиндуцированные токи (ГИТ). При геомагнитных бурях возмущения геомагнитного поля индуцируют на поверхности Земли электрические поля, частотой во много раз меньше рабочей частоты электрической сети – порядка (0,001÷0,1) Гц. Из-за большой протяженности линий электропередач между заземленными трансформаторами возникает разность потенциалов, под воздействием которой и протекают ГИТ.

Основное воздействие ГИТ на электроэнергетические системы (ЭЭС) заключается в насыщении магнитной системы силовых трансформаторов, что приводит к возрастанию несинусоидальных токов намагничивания. Увеличения тока намагничивания вызывает перегрев трансформатора, а также увеличение потребления им реактивной мощности и появление высших гармоник в сети [2]. Вышеперечисленные факторы приводят как к ухудшению качества электроэнергии, поступающей к потребителям, так и негативно сказывается на оборудовании энергосистемы.

Силовые трансформаторы, входящие в блок "генератор - трансформатор" электростанции, являются ключевым элементом, обеспечивающим качественное электроснабжение. Геоиндуцированные токи практически не трансформируются, так как система воспринимает их как постоянный ток, и поэтому осуществляют подмагничивание силовых трансформаторов. Это вызывает дополнительный нагрев изоляции, масла и обмоток силовых трансформаторов [3]. Искажения кривой тока намагничивания приводят к появлению высших гармонических составляющих тока и напряжения во всей энергосистеме [4], что вызывает нарушение работы противоаварийной автоматики. Увеличение тока намагничивания вызывает увеличение потребления реактивной мощности силовым трансформатором и снижение напряжения во всей электрической сети, что может привести к аварии.

Если геомагнитно-индуцированные токи оказывают такое влияние на трансформаторы, следует предположить, что их воздействие будет затрагивать и связанное с ними оборудование. ГИТ оказывают непосредственное влияние на работу генераторов электростанций. Нелинейное искажение гармонического состава приводит к снижению мощности генератора, а потери реактивной мощности приводят к снижению напряжения, а также вызывают перегрев обмотки статора. Кроме того, появление высших гармоник в токе ротора может привести к повышенным вибрациям валопровода турбины [5].

В нашей стране при проектировании и эксплуатации оборудования ЭЭС не учитываются негативные электромагнитные эффекты геомагнитных бурь, которые способны причинить значительный ущерб. Наиболее сильно это относится к объектам, расположенным в северных широтах, так как воздействие геомагнитных бурь, а значит и ГИТ, в тех районах максимально. На рисунке 2 приведена геомагнитная активность в Мурманске с середины сентября до середины октября 2019 года.

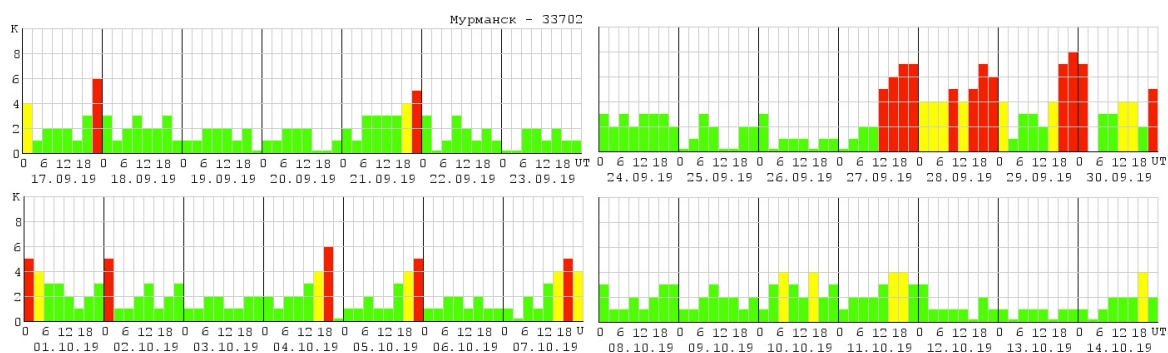


Рисунок 2 – Значения К – индексов в Мурманске с 17.09.2019 до 14.10.2019

К-индекс – это индекс геомагнитной активности. Он изменяется от 0 до 9 условных единиц, и значения $K \geq 5$ соответствуют магнитной буре. Как видно из графиков, магнитные бури в Мурманске случаются регулярно. Это говорит о том, что

необходим постоянный контроль параметров ГИТ, влияющих на оборудование мощных электростанций.

И, хотя вероятность аварии из-за воздействия ГИТ достаточно мала, учитывая минимальный срок службы турбогенератора (25 лет), необходимо предусматривать воздействие геомагнитно-индуцированных токов при проектировании синхронных машин для электростанций.

В настоящее время существует несколько систем, измеряющих ГИТ в нейтральных трансформаторах. Однако все они имеют ряд недостатков. Например, существуют системы, измеряющие только гармонический состав в сети с помощью датчиков Холла. Этот подход дает неполные данные для достоверного утверждения о наличии ГИТ в сети без измерения потребления мощности трансформатором. Так как высшие гармоники могут быть вызваны нелинейными потребителями. Существуют системы, идентифицирующие наличие ГИТ за счет измерения магнитного поля. Недостатком таких систем является то, что любой постоянный ток приравнивается к геоиндуцированному. А также системы, использующие дорогостоящее оборудование. А систем, полностью оценивающих негативное влияние на оборудование электростанций, не существует вовсе.

На основании исследований [7,3], а также на основе результатов, полученных американской системой SUNBURST [8], можно сделать вывод, что для оценки ГИТ достаточно отслеживать изменение гармонического состава в сети и потребление реактивной мощности трансформатора.

Таким образом, предлагается использование комплексного подхода, включающего в себя не только регистрацию геоиндуцированных токов, но и контролирующего все параметры, на которые оказывают влияние геоиндуцированные токи в рамках воздействия на оборудование электростанций: коэффициент гармонических составляющих тока и напряжения, полная и реактивная мощность, температура обмотки статора генератора, вибрации валопровода турбины.

Как было сказано выше, основным критерием для обнаружения ГИТ является наличие высших гармоник в сети. Они регистрируются с помощью измерения коэффициента гармонических составляющих $K_{U(n)}$, который определяется как сумма отношений напряжения исследуемой (n-ной) гармоники к напряжению основного сигнала, измеренных через интервал T_N . Для напряжения с основной частотой 50 Гц длительность этого интервала равна 10 периодам основной частоты (200 мс).

Были смоделированы два варианта протекания гармоник в сети. При воздействии ГИТ и без него. На основании анализа был сделан вывод, что наличие ГИТ в сети может увеличивать значение коэффициента до 10 раз. Поэтому необходимо обеспечивать точные и достоверные измерения коэффициента гармонических составляющих согласно ГОСТ 30804.4.7-2013 [9]. Поэтому в рамках исследовательской работы была написана методика испытаний для средств измерения гармоник – анализаторов качества электрической энергии.

Основной принцип измерения гармонических составляющих заключается в разложении сигнала на гармоники с помощью преобразования Фурье и последующем вычислении коэффициента гармонических составляющих. Таким образом, в качестве средства испытаний был выбран осциллограф Tektronix AFG 3021 В.

На осциллографе задается напряжение основной частоты, а через внешние каналы – сигналы гармоник. Получившийся искаженный сигнал подается на анализатор качества электрической энергии.

В ходе работы были рассчитаны значения напряжений гармоник, которые должны подаваться на прибор, для получения определенных значений коэффициента гармонической составляющей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе рассмотрен механизм появления геоиндуцированных токов, выполнен анализ подходов к проблеме влияния геомагнитно-индуцированных токов на электроэнергетические системы, основных методов мониторинга ГИТ. Произведен расчет коэффициента гармонических составляющих, как одного из показателей ГИТ.

По результатам проведенной работы выявлена необходимость непрерывно измерять, контролировать и учитывать влияние параметры ГИТ на энергосистемы.

Впервые была предложена система контроля геоиндуцированных токов с учетом влияния их воздействия на оборудование. А также методика испытаний для средств измерения гармонических составляющих в сети.

Литература

1. *Лапишин, В. Б.* Институт прикладной геофизики//Журнал «Мир измерений»: Космическая погода. - 2013. - № 2. – С.3-6.
2. *Вахнина В.В.* Разработка основ теории функционирования систем электроснабжения потребителей при воздействии геоиндуцированных токов: дис. докт. техн. наук: 05.09.03/ Вахнина Вера Васильевна, Москва, 2013. – 40с.
3. *Сероветников А. С.* Диагностика деструктивного проявления геомагнитно-индуцированных токов в электрических сетях: дис. канд. техн. наук: 05.14.02/ Сероветников Андрей Сергеевич, Петропавловск-Камчатский, 2015. – 186с.
4. *Гершенгорн, А.И.* Воздействия геомагнитных токов на электрооборудование энергосистем / А.И. Гершенгорн // Электрические станции. – 1993. – № 6. – С. 54 – 63.
5. Document C-15. Procedures for Solar Magnetic Disturbance Which Affect Electric Power Systems: Approved by the Task Force on Coordination of Operation on April 10. – 1989
6. *Катькалов Ю.В.* Разработка системы регистрации геоиндуцированных токов/ Ю.В Катькалов, В.В Колобов, Я.А. Сахаров// Научно-технические проблемы развития энергетики севера. – 2009. – С. 131-136
7. *Соколова О. Н.* Исследование действий геомагнитных токов на энергосистемы и мероприятий по предотвращению системных аварий: дис. канд. техн. наук: 05.09.05/ Соколова Ольга Николаевна, Санкт-Петербург, 2016. – 188с.
8. EPRI SUNBURST Project [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.epri.com/#/pages/product/1013801/?lang=en-US>. – Electric Power Research Institute.
9. ГОСТ 30804.4.7-2013 Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств. – М.: Стандартинформ, 2014