

УДК 551.594

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ПС-220/110/10 кВ «ПРИМОРСКАЯ»

Стрижова Т.А.

ГОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург, Россия (199106, Санкт-Петербург, 21-я линия Васильевского острова, д.2), e-mail: strizhova_ta@mail.ru

Силовое оборудование подстанций 110/10 кВ вызывает воздействие мощных электромагнитных полей на более чувствительное оборудование РЗА, АСКУЭ, телемеханики и связи, то есть цепей вторичной коммутации. Оборудование подстанции должно обладать помехоустойчивостью, поэтому вопросы обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) ее оборудования актуальны для нормального функционирования современных технических устройств с жесткой электромагнитной обстановкой на энергообъектах. Для обеспечения ЭМС требуется выполнение нескольких обязательных условий. В статье предложен метод и приведен пример реализации оценки электромагнитной обстановки (ЭМО) на примере ПС-220/110/10 кВ «Приморская», расположенной в г. Санкт-Петербурге. Автором определена помехоустойчивость оборудования подстанции при условии КЗ в нескольких различных точках и моделирования разряда молнии в четыре молниеотвода, расположенные по периметру подстанции.

Ключевые слова: электромагнитная обстановка, электромагнитная совместимость, помехоустойчивость, экранирование, импульсные перенапряжения.

A COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF EQUIPMENT HIGH VOLTAGE SUBSTATION FOR EXAMPLE SUBSTATION 220/110/10 KV "SEASIDE"

Strizhova I.A.

State educational Institute of higher professional education "national mineral resources University "Mining", ,Saint Petersburg, Russia, 199106, St. Petersburg, 21st line of Vasilievsky island, d 2), e-mail: strizhova_ta@mail.ru

Power equipment of substations 110/10 kV is the impact of powerful electromagnetic fields to more sensitive equipment and automation, metering, telemetry, and communications, that is, the secondary switching circuits. The equipment of the substation should have immunity, so the issues of electromagnetic compatibility (EMC) of the equipment relevant for the normal functioning of modern technical devices with harsh electromagnetic environment at power plants. To ensure EMC requires several mandatory conditions. In the article the method and the example of the evaluation of the electromagnetic environment (EME) for example, substation 220/110/10 kV "Maritime", located in St. Petersburg. The author defines the immunity of equipment in the station when the short circuit condition at several different points and simulation of lightning discharge in four lightning rod, located on the perimeter of the substation.

Keywords: electromagnetic environment, electromagnetic compatibility, immunity, shielding, surge.

Для обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) электрооборудования и электронных устройств на подстанциях требуется выполнение трех следующих обязательных условий:

- испытание оборудования на помехоустойчивость по классам жесткости испытаний [2] в зависимости от ЭМО.
- уровни электромагнитных полей и помех не должны превышать регламентированных ГОСТами значений [3].
- разности потенциалов на изоляции вторичных цепей не должны превышать предельно-допустимые нормы [4].

Анализ компоновки подстанции и ее влияние на ЭМО содержит следующие основные параметры:

-значительные токи КЗ, от которых возникает разность потенциалов на заземляющем устройстве подстанции (ЗУ ПС) [4];

-размещение токоограничивающих реакторов определяет возникновение значительных магнитных полей промышленной частоты;

-возникновение разности потенциалов от импульсных магнитных полей при работе системы молниезащиты ПС[6].

В данной работе проведена комплексная оценка ЭМС подстанции высокого напряжения на примере ПС-220/110/10 кВ «Приморская», расположенной в г. Санкт-Петербурге. При оценке ЭМО учитывались следующие параметры (табл.1).

Таблица 1

Оценка ЭМО ПС-220/110/10 кВ ПС «Приморская»

<i>Оценка параметров</i>	<i>Выполняемые расчеты</i>	<i>Результаты</i>
Оценка сопротивления растеканию ЗУ ПС	Расчет распределения потенциалов в случае КЗ и разрядов молнии	Программа «Контур»
Оценка разностей потенциалов, возникающих при замыканиях в высоковольтных сетях	Определялась разность потенциалов между различными точками ЗУ ПС при КЗ в сети 220кВ	максимальная разность потенциалов при КЗ в сети 220 кВ между точкой КЗ и помещениями с МП аппаратурой составит 873 В
Оценка величины шагового напряжения, возникающего при КЗ в сети 220 кВ	Напряжение прикосновения на ОРУ 220 кВ может составить 197 В в летнее время и 806 В в зимнее время	максимальное шаговое напряжение может достигнуть 690 В
Оценка нагрева экранов вторичных цепей при КЗ в сети 220 кВ	Максимальное время отключения КЗ резервной (УРОВ) защитой составляет 0,96 с.	Согласно [2] нагрев экранов кабелей за время КЗ не должен превысить 150 °С.

Оценка магнитных полей, влияющих на оборудование РЗА и МП аппаратуру	Был произведен расчет напряженностей магнитного поля при КЗ и ударе молнии (закон Био-Савара) [9]	Отмечено снижение в ~ 4-7 раз напряженности магнитного поля цепей, имеющих гальваническую связь с ЗУ ПС
Оценка разностей потенциалов, возникающих в изоляции вторичных цепей и входах МП аппаратуры при ударе молнии[6]	Молниезащита включает 4 молниеотвода по периметру подстанции, рассчитывался разряд молнии в каждый молниеотвод ПС последовательно.	Результатом расчетов является максимум разности потенциалов, возникшей в изоляции вторичных цепей (10,38 кВ).
Оценка магнитных полей при КЗ в сетях 220 кВ и 10 кВ	При КЗ в сети 220 кВ максимальное значение магнитного поля в местах размещения МП аппаратуры (за исключением ЗРУ-10 кВ) составит 215 А/м. В помещении ЗРУ-10 кВ при КЗ в сети 220 кВ максимальное значение магнитного поля составит 366 А/м	Согласно расчетам для ограничения токов КЗ в сети 10 кВ будут установлены сухие токоограничивающие реакторы с /ном = 3200 А и $X_p = 0,1$ Ом.
Оценка импульсных магнитных полей при ударе молнии [9]	Был произведен расчет напряженности магнитного поля при ударе молнии в крышу здания ПС. Максимальное значение составит 300 А/м на расстоянии 3 м от токоотводов	Экранирование аппаратуры
Оценка высокочастотных помех при коммутационных операциях оборудования ПС	На настоящем этапе работ точный расчет величины ВЧ коммутационных помех при коммутационных операциях выполнить затруднительно	
Оценка влияния компоновки на ЭМО ПС	Размещение токоограничивающих реакторов	Отключение однофазных замыканий на землю в сети 10 кВ

Таблица 2

Рекомендации по ЭМС оборудования ПС-220/110/10 кВ ПС «Приморская»

Рекомендации по изменению трасс прокладки вторичных цепей	Вторичные цепи должны быть выполнены экранированным кабелем с двусторонним заземлением экрана
Рекомендации по ограничению импульсных перенапряжений	Кабели ВЧ-связи и ВЧ-защиты, подходящие к МП аппаратуре от фильтров присоединения на ОРУ, необходимо снабдить УЗИП.
Рекомендации по организации питания переменным током	Систему электроснабжения МП аппаратуры переменным током рекомендуется выполнить по схеме TN-S.
Требования по организации питания МП аппаратуры постоянным током	Схема питания микропроцессорной аппаратуры постоянным током должна иметь структуру звезды
Требования по организации заземления в помещениях с микропроцессорной аппаратурой	В помещениях с микропроцессорной аппаратурой выполняется система уравнивания потенциалов по схеме «сетка» или «звезда»
Требования по экранированию микропроцессорной аппаратуры от магнитных полей	Для экранирования помех аппаратура должна быть размещена в стальных шкафах, с толщиной стенок не менее 1,0 мм.
Рекомендации по защите МП аппаратуры от полей радиочастотного диапазона	Вторичные цепи устанавливаемой МП аппаратуры, проходящие внутри зданий с МП аппаратурой выполнить экранированными кабелями
Рекомендации по защите оборудования от электростатических разрядов	В помещениях с МП аппаратурой применить антистатические полы и установить систему кондиционирования с контролем влажности.
Требования ЭМС к аппаратуре, размещаемой на объекте	Экраны кабелей необходимо соединить с корпусом МП аппаратуры.

Вторичные цепи подстанции должны обладать помехоустойчивостью в условиях жесткой ЭМО. Для расчета тока КЗ или разряда молнии использовались данные из [3]. Результаты измерений помех во вторичных цепях пересчитывают с учетом амплитуды импульса тока КЗ в заземлителе ($I_{вч}$) при различных точках приложения КЗ.

При расчете частотных характеристик напряжение помехи при КЗ предлагается рассчитывать по формуле (1)

$$U_{\text{пом кз}} = I_{\text{вч}} Z_{\text{имп обор}} / K_{\text{перед}} K_{\text{дел В-Н}} K_{\text{Г}} \quad (1)$$

где $I_{\text{вч}}$ – максимальный ток КЗ, при высокочастотных помехах,

$Z_{\text{имп обор}}$ – импульсное сопротивление оборудования растеканию тока

$K_{\text{перед}}$ – коэффициент передачи [4], $K_{\text{дел В-Н}}$ – коэффициент деления, определяется гармоническими составляющими тока намагничивания силового трансформатора

$$K_{\text{дел В-Н}} = U_{\text{зав.обор}} / U_{\text{пом,имит}} = I_{\text{имит}} Z_{\text{имп.обор}} / U_{\text{пом,имит}}, \quad (2)$$

$K_{\text{Г}}$ – коэффициент гармоник намагничивающего тока показывает эффективные значения намагничивающего тока при различных коэффициентах загрузки силового трансформатора.

$$K_{\text{Г}} = \sqrt{I_0 \text{эфф}^2 - I_0(0)^2 - I_0(1)^2} / I_0(1)^2 \quad (3)$$

$I_0(1)$ – эффективное значение основной (первой) гармоники намагничивающего тока; $I_0 \text{эфф}$ – эффективное значение намагничивающего тока; $U_{\text{пом,имит}}$ – напряжение помехи во вторичных цепях.

Выводы

1. Уровни импульсных перенапряжений, приложенных к входам микропроцессорной аппаратуры, и к изоляции вторичных цепей, проходящих по территории ПС-220/110/10 кВ «Приморская» (при прокладке цепей экранированным кабелем с двусторонним заземлением экрана), не будут представлять опасности для входов микропроцессорной аппаратуры, испытанной по 4-му классу жесткости на устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии, и для изоляции вторичных цепей, удовлетворяющей требованиям ГОСТов.
2. Полученная в ходе исследования зависимость (1–3) может быть использована для моделирования распределения потенциалов в случае КЗ и удара молнии в оборудование ПС.
3. В ходе исследования была проведена комплексная оценка ЭМС и сформированы рекомендации по обеспечению электромагнитной совместимости оборудования для ПС-220/110/10 кВ «Приморская».

Список литературы

1. Александров Г.Н. Молния и молниезащита. – СПб.: Изд-во Политехн.ун-та, 2007. – 280с.
2. ГОСТ Р 51317.6.5-2006 (МЭК 61000-6-5-2001) Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых на электростанциях и подстанциях.

3. ГОСТ Р 51317.2.5-2000 (МЭК 61000-2-5-95) Совместимость технических средств электромагнитная. Электромагнитная обстановка. Классификация электромагнитных помех в местах размещения технических средств.
4. СО 34 35.311-2004. Методические указания по определению электромагнитной обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях.
5. СТО 56947007-29.130.15.114-2012. Руководящие указания по проектированию заземляющих устройств подстанций напряжением 6-750 кВ.
6. Стрижова Т.А. Оценка разностей потенциалов, прикладываемых к изоляции вторичных цепей кабельных линий подстанции при молниевых разрядах // Современные научные исследования и инновации. – 2015. – № 1.
7. Стрижова Т.А., Лебедев А.В. Защита от действия магнитных полей оборудования ПС-220/110/10 кВ «Приморская» // Современная техника и технологии. – 2015. – № 2.
8. Стрижова Т.А., Лебедев А.В. Защита от импульсных перенапряжений оборудования ПС-220/10 кВ «Приморская» // Современная техника и технологии. – 2014. – № 12. – С.18-19.
9. Стрижова Т.А., Агапитов В.М. Защита ПС-220/110/10 кВ «Приморская» от обратных перекрытий от удара молнии // Современные научные исследования и инновации. – 2015. – № 2.

Рецензенты:

Минаков В.Ф., д.т.н., профессор, почетный работник высшего профессионального образования РФ, профессор кафедры информатики ФГБОУ ВО СПбГЭУ, г. Санкт-Петербург;

Беляев В.Л., д.т.н., профессор, профессор кафедры Электротехники, электроэнергетики, электромеханики Национального минерально-сырьевого университета «Горный», г. Санкт-Петербург.