

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**
Институт «Политехнический», факультет «Энергетический»
Кафедра «Автоматизированный электропривод»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой, к.т.н., доцент

_____/А.Н. Шишков/

“ ____ ” _____ 2017 г.

Электромагнитная совместимость электрооборудования и системы автоматике
электрических станций и подстанций

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОМУ КВАЛИФИКАЦИОННОМУ ПРОЕКТУ

ЮУрГУ-13.03.02.2017.13155.ВКР

Руководитель проекта:
д.т.н., профессор

_____/М.А. Григорьев/

“ ____ ” _____ 2017 г.

Автор проекта
студент группы _____ П-476 _____

_____/Е.М. Тулегенов/

“ ____ ” _____ 2017 г.

Нормоконтролер:
Доцент, к.т.н.

_____/Т.А. Функ/

“ ____ ” _____ 2017 г.

Челябинск 2017 г.

АННОТАЦИЯ

Тулегенов Е.М. Электромагнитная совместимость электрооборудования и системы автоматики станций и подстанций. – Челябинск: ЮУрГУ, П, 2017, 54 с., 1 илл., 8 табл., библиография литературы – 25 наим.

В ходе выпускной квалификационной работы была экспериментально проверена совместимость электрооборудования и системы автоматики ГРЭС2.

Была рассчитана, и затем экспериментально подтверждена электромагнитная обстановка, выбраны рекомендуемые критерии жесткости для микропроцессорных устройств.

В ходе работы проведены изменения по определению состояния контура заземления объектов, уровней подъема потенциала в месте КЗ и токовой нагрузки на экраны кабелей при помощи измерительного комплекса КДЗ-2.

					ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-155.ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>				
Разраб.	Тулегенов Е.М.				Электромагнитная совместимость электрооборудования и системы автоматики электрических станций и подстанций.	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Провер.	Григорьев М.А.						4	54
Реценз						ЮУрГУ Кафедра «АЭП»		
Н. Контр.	Функ Т.А.							
Утверд.	Шишков А.Н.							

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 Обеспечение устойчивой работы участков энергетической системы	8
1.1 Понятие синхронизации	8
1.2 Способы синхронизации	9
1.3 Устройства для автоматизации процесса синхронизации	15
2 Электромагнитная совместимость устройств	18
2.1 Понятие электромагнитной совместимости	18
2.2 Источники электромагнитных помех	19
3 Методика расчета электромагнитной обстановки	23
3.1 Методика определения ЭМО	23
3.2 Краткая характеристика объекта	23
4 Расчет уровней воздействий наведенных помех	26
4.1 Расчет полевых помех при КЗ	26
4.2 Расчет помех, возникающих при КЗ из-за подъема потенциала	29
4.3 Расчет уровней воздействий импульсных полевых помех	31
4.4 Расчет уровней воздействий импульсных перенапряжений на ЗУ, возникающих при ударах молнии	33
4.5 Расчет уровней воздействий магнитных полей промышленной частоты	35
4.6 Определение величины напряжения прикосновения	37
4.7 Обеспечение защиты от воздействий разрядов статического Электричества	38
4.8 Обеспечение защиты от кондуктивных помех	39
4.9 Воздействие тока КЗ промышленной частоты	40
5 Измерение величины импульсных помех	41
5.1 Принцип измерения импульсных помех	41
6 Расчетные значения уровней электромагнитных воздействий и рекомендуемые степени жесткости испытаний МП аппаратуры	48
7 Заключение	50
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	53

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ВВЕДЕНИЕ

Электроэнергетика является самой автоматизированной отраслью народного хозяйства. Это связано со специфическими особенностями её технологических процессов. А именно, режимная взаимозависимость параллельно работающего электрооборудования, непрерывность процессов производства, транспорта и потребления электроэнергии при очень высокой скорости их протекания требуют скорости реакции, недоступной человеку. Нарушение нормального режима работы одного из элементов энергетической системы может отразиться на работе многих других элементов энергосистемы, а при неблагоприятных условиях привести к нарушению всего технологического процесса.

В связи с этим возникает требование как можно более быстрого восстановления нормального режима работы аварийного элемента или быстрой замены его другим резервным элементом, а также восстановления баланса вырабатываемой и потребляемой электрической энергии.

Другая особенность состоит в том, что электромеханические процессы при нарушении электрической системы или нормального режима возникают и протекают обычно так быстро, что обслуживающий персонал оказывается не в состоянии одновременно обнаружить начало и предотвратить развитие этих процессов. Поэтому контроль и управление режимами энергосистемы представляют собой весьма сложные технические задачи. Рассмотренные особенности энергетического производства определили необходимость широкой автоматизации энергетических систем.

Под автоматизацией энергосистем понимается оснащение их автоматическими устройствами, осуществляющими управление технологическим процессом производства, передачи и распределения электрической энергии в нормальных и аварийных условиях без участия человека в соответствии с программой, заложенной в эти устройства, и их настройкой.

Все устройства автоматики по своему назначению и области применения можно подразделить на две группы: технологическую и системную автоматику.

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В свою очередь, устройства автоматики в каждой из этих групп делятся на устройства автоматического управления и устройства автоматического регулирования.

Технологическая автоматика обеспечивает автоматическое управление или регулирование в нормальном режиме работы:

- автоматическое регулирование напряжения (АРН);
- автоматическая синхронизация генераторов (АСГ);
- автоматическое частотное регулирование (АЧР).

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1. ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ УЧАСТКОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

1.1 Понятие синхронизации генераторов

1.1.1 На каждой электростанции установлено несколько генераторов, которые включаются на параллельную работу в общую сеть. В современных энергосистемах на общую сеть, кроме того, работает целый ряд электростанций, и поэтому параллельно на общую сеть работает большое число синхронных генераторов. Благодаря этому достигается большая надежность энергоснабжения потребителей, снижение мощности аварийного и ремонтного резерва, возможность маневрирования энергоресурсами сезонного характера и другие выгоды.

В настоящее время включение генераторов на параллельную работу производится автоматически при помощи автосинхронизаторов. Операция включения синхронных генераторов на параллельную работу весьма сложна и ответственна. Последствием неправильного включения генератора в сеть в лучшем случае может быть обесточивание шин электростанции, а при известных условиях – повреждение коммутационной аппаратуры и генератора.

1.1.2 Для успешного включения генератора в сеть необходимо, чтобы толчок уравнительного тока в момент включения не превышал допустимого значения, а ротор включаемого генератора втянулся в синхронизм без длительных качаний. Для выполнения этих условий необходимо предварительно отрегулировать частоту вращения генератора так, чтобы она стала близкой к синхронной, а напряжение на его выводах (если генератор возбужден) сделать равным или близким напряжению энергосистемы и выбрать момент подачи команды на включение выключателя. Этот процесс уравнивания частоты вращения и напряжения и выбора момента включения генератора в сеть называется синхронизацией.

1.2 Способы синхронизации

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В эксплуатации применяются два основных способа включения генераторов на параллельную работу с энергосистемой: точная синхронизация и самосинхронизация.

1.2.1 При включении способом точной синхронизации генератор разворачивается до частоты, близкой к синхронной, и возбуждается. Поскольку при точной синхронизации генератор включается в сеть уже возбуждённым, то на его выводах имеется напряжение. Следовательно, процесс точной синхронизации подразумевает процесс уравнивания частоты вращения и напряжения включаемого генератора с частотой вращения и напряжением работающих генераторов, а также выбор соответствующего момента времени для подачи импульса на включение выключателя, когда направления векторов синхронизируемых напряжений совпадают.

1.2.2 При самосинхронизации генератор разворачивается до частоты, близкой к синхронной, и включается в сеть невозбужденным. Ток возбуждения подается в обмотку ротора сразу же после включения выключателя генератора. Затем происходит нарастание тока ротора и ЭДС, и генератор втягивается в синхронизм.

1.2.3 Способ точной синхронизации при включении генератора на параллельную работу требует несколько минут на производство операций при соответствующем навыке обслуживающего персонала. Рассмотрим более подробно условия точной синхронизации, применяемые для включения в сеть генераторов всех типов и мощностей при любой схеме коммутации.

При точной синхронизации производятся следующие операции:

1. уравнивание напряжения генератора U_g с напряжением сети U_c на шинах электростанции (т. е. с напряжением работающих генераторов) путем изменения тока возбуждения генератора с помощью регулятора возбуждения РВ;
2. уравнивание частоты генератора f_g с частотой сети f_c путем изменения подачи топлива приводного двигателя генератора с помощью регулятора топлива РТ;
3. уменьшение до минимума фазового угла между синусоидами напряжений генератора и сети путем изменения подачи топлива приводного двигателя генератора.

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В реальной жизни при эксплуатации невозможно идеальное соблюдение всех этих условий. Наиболее опасным при синхронизации является невыполнение условия $\delta=0$, так как возникает толчок, обусловленный моментом, вследствие появления активной составляющей в уравнительном токе. Этот момент создаёт ударные воздействия на обмотки и на вал ротора генератора, что может привести к механическим повреждениям. Большое отклонение частоты тоже является опасным, поскольку может привести к возникновению качаний, и даже асинхронного режима. Поэтому предварительно необходимо определить, а затем на практике обеспечить допустимые отклонения от условий синхронизации. Процесс синхронизации относится к нормальным рабочим процессам, поэтому быстрота включения не имеет первостепенного значения, что позволяет в некоторой степени ограничить воздействия на генератор. И лишь в редких ненормальных режимах, сопровождающихся снижением частоты и напряжения или разделением электроэнергетической системы на несинхронно работающие части, быстрота включения оказывается очень важной, вследствие чего допускаются повышенные воздействия на включаемый генератор.

Условие $\delta=0$ при синхронизации соответствует совпадению направлений векторов напряжений генератора и системы. Но в процессе раскрутки генератора векторы этих напряжений совпадать по направлению, как правило, не могут (совпасть они могут только случайно). Если при этом будет идеально соблюдаться условие равенства частот, то имеющийся угол δ меняться не будет и никогда не достигнет нулевого значения. Для того чтобы направления этих векторов когда-то совпали, генератору необходимо иметь некоторое скольжение, то есть скорость вращения его ротора должна быть отличной от номинальной. Скольжение является первой производной по времени от угла δ . Именно только при отклонении скорости вращения ротора векторы напряжений могут периодически сходиться и расходиться. То есть для выполнения условия № 3 требуется некоторое отклонение от условия № 2. Чем больше будет отклонение или скольжение, тем быстрее векторы напряжений будут сходиться и расходиться. Очевидно, что отклонение должно быть небольшим, поэтому в

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

процессе синхронизации генераторы раскручивают не до номинальной скорости, а близкой к ней.

Следовательно, точная синхронизация синхронных машин связана с выполнением сложных операций. Ошибки при этом могут иметь тяжелые последствия. В связи с этим данный процесс выполняется опытными электромеханиками или автоматическими устройствами.

Способ самосинхронизации разрешается применять в аварийных условиях на турбогенераторах мощностью до 200 МВт включительно и гидрогенераторах мощностью до 500 МВт включительно; генераторы большей мощности разрешается включать этим способом при условии, что кратность сверхпереходного тока к номинальному не превышает 3,0. В нормальных условиях разрешается включение способом самосинхронизации (в зависимости от условий работы электростанции и состояния агрегата) турбогенераторов с косвенным охлаждением обмоток, работающих по схеме генератор - трансформатор; гидрогенераторов с косвенным охлаждением обмоток, а также синхронных компенсаторов с разгонными электродвигателями.

Следует также иметь в виду, что включение генератора в сеть способом самосинхронизации сопровождается значительным снижением напряжения на выводах генератора, что может вызвать нарушение нормальной работы потребителей, подключенным к шинам генераторного напряжения. Значение остаточного напряжения может быть подсчитано по следующей формуле:

$$U_{\Gamma} = U_{\text{с}} \frac{X'_d}{X'_d + Z_{\text{рез}}}$$

где $Z_{\text{рез}}$ - наименьшее результирующее сопротивление энергосистемы, приведенное к выводам генератора; X'_d - переходное сопротивление генератора.

1.2.4 При включении синхронной машины в сеть способом самосинхронизации должны быть соблюдены следующие условия:

1. генератор не возбужден;
2. АГП отключен;
3. остаточное напряжение на выводах статора не должно превышать 0,1...0,3 г/ном;

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

4. скольжение машины не должно превышать допустимого значения;
5. ускорение машины в момент включения не должно превосходить допустимого значения (0,5 Гц/с для гидрогенераторов без успокоительных обмоток и 2... 5 Гц/с для турбогенераторов и гидрогенераторов с успокоительными обмотками).

Если самосинхронизация будет происходить при большом остаточном напряжении на выводах генератора, она будет сопровождаться большими толчками тока как несинхронное включение возбужденного генератора. В случае включения генератора в сеть при большом скольжении или ускорении процесс самосинхронизации может затянуться и будет сопровождаться длительными качаниями. Поскольку генератор, включаемый в сеть методом самосинхронизации, не возбужден, момент его включения в сеть относительно фазы напряжения системы не имеет значения.

1.2.5 Основными достоинствами способа самосинхронизации является ускорение процесса синхронизации и его сравнительная простота, вследствие чего он легко может быть автоматизирован. Преимущества самосинхронизации особенно важны в аварийных условиях при значительных колебаниях частоты и напряжения в энергосистеме. Недостатком способа самосинхронизации следует считать сравнительно большие толчки тока в момент включения, вследствие чего подгорают контакты выключателей и подвергаются дополнительным динамическим усилиям обмотки генераторов и трансформаторов.

1.3 Устройства для автоматизации процесса синхронизации

1.3.1 Синхронизация генераторов весьма ответственная операция, требующая от дежурного персонала определенных знаний и опыта работы. Генераторы большой мощности синхронизируют с помощью стрелочных синхроноскопов, работающих по принципу вращающегося магнитного поля. В этих приборах при $f_c \neq f_r$ стрелка вращается с частотой, пропорциональной разности частот $f_c - f_r$, в одну или другую сторону в зависимости от того, какая из этих частот больше. При $f_c = f_r$ стрелка устанавливается на нуль; в этот момент и следует подключать генератор к сети. Так же для синхронизации применяются

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

ламповые синхроскопы. Но данные устройства устаревают и на замену им пришли автоматические синхронизаторы.

1.3.2 Автоматические синхронизаторы облегчают условия труда оперативного персонала, и позволяют ускорить включение генератора в сеть, что особенно важно в аварийных условиях. Различают ручную, автоматическую и полуавтоматическую синхронизацию. Соответственно, устройства автоматики подразделяются на автоматические и полуавтоматические.

1.3.3 При автоматической синхронизации весь процесс включения генератора в сеть выполняется автоматически, без вмешательства дежурного персонала. Например, автоматический точный синхронизатор осуществляет регулирование частоты вращения и напряжения синхронизируемого генератора, контролирует допустимость для включения разности частот и напряжений, дает импульс на включение в момент, когда выполняются условия точной синхронизации.

1.3.4 При полуавтоматической синхронизации устройства автоматики играют вспомогательную роль, помогая дежурному персоналу синхронизировать генератор. Например, устройство полуавтоматической самосинхронизации контролирует разность частот и дает импульс на включение, когда она станет допустимой для включения. Регулирование частоты вращения синхронизируемого генератора при этом возлагается на дежурный персонал. В ряде случаев устройства полуавтоматической точной синхронизации используются в качестве блокировок, разрешающих включение генератора вручную при допустимых для синхронизации условиях.

1.3.5 На данный момент эксплуатации применяются синхронизаторы двух типов: с постоянным углом опережения и с постоянным временем опережения. Смысл опережения заключается в следующем. Условие $\delta=0$ при синхронизации должно выполняться в момент замыкания контактов выключателя. Поскольку выключатель имеет не нулевое время включения, команда на включение должна подаваться заранее, то есть с опережением. Отсюда и вытекают такие понятия как время и угол опережения. Очевидно, что время опережения должно равняться времени включения выключателя, а угол опережения – это тот угловой путь, который проходит вектор напряжения генератора за время включения до

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

схождения с вектором напряжения энергосистемы. Так как время включения выключателя меняться не может, то в зависимости от частоты генератора угол опережения должен быть разным. При большом скольжении векторы напряжений сходятся и расходятся быстро, соответственно вектор напряжения генератора пройдёт большой угловой путь по сравнению со случаем, когда скольжение будет меньше. Следовательно, чем больше скольжение, тем больше должен быть угол опережения. Это должны учитывать автоматические синхронизаторы, применяемые на электростанциях. А это, в свою очередь, означает, что синхронизаторы с постоянным углом опережения не способны учитывать разное скольжение и успешность синхронизации может быть обеспечена только при строго заданной заранее скорости генератора. В реальных условиях обеспечить заданную скорость очень затруднительно и это приведёт к затягиванию процесса. Поэтому синхронизаторы с постоянным углом опережения на электростанциях не применяются; их область применения ограничивается автоматикой повторного включения с улавливанием синхронизма (АПВУС) для линий с двухсторонним питанием. На практике также затруднительно обеспечить равномерность скорости вращения генератора. Поэтому на электростанциях следует применять такие синхронизаторы, которые способны сами вычислять нужный угол опережения, учитывая не только разную скорость вращения генератора, но и изменение скорости в процессе синхронизации (ускорение или вторую производную от угла δ).

1.3.6 Одни из самых первых синхронизаторов с постоянным временем опережения – это аналоговые устройства типа АСТ-4 и СА-1 отечественного производства. Автоматический синхронизатор АСТ-4 является наименее совершенным, поскольку он выполнен на релейной базе и не рассчитан на учёт изменения скорости (или скольжения) генератора. Автоматический синхронизатор СА-1 оказывается более совершенным, поскольку выполнен на микроэлектронной базе и способен учитывать изменение скорости генератора. Основное допущение, заложенное в алгоритм функционирования СА-1, это неизменность ускорения генератора в течение времени опережения. В настоящее время на электростанциях устанавливаются микропроцессорные автоматические

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

синхронизаторы, принцип функционирования которых может существенно отличаться от принципа аналоговых устройств. Но, в целом, для микропроцессорных синхронизаторов требуется задавать такие же уставки, как и для аналоговых, а порядок их выбора также не изменяется. Кроме этого, некоторые микропроцессорные синхронизаторы отечественного производства являются программными моделями аналогового синхронизатора СА-1.

1.3.7 В конечном итоге для автоматических синхронизаторов потребуется задавать следующие основные уставки: максимально допустимое скольжение и максимально допустимый угол опережения. Максимально допустимая разность значений напряжений генератора и системы зависит от способа определения угла δ в самом синхронизаторе, и, как правило, задаётся разработчиком. В современных микропроцессорных синхронизаторах при использовании метода подсчёта тактовых импульсов в принципе не может быть какой-либо погрешности в определении угла δ , а соответственно такая уставка может и не предусматриваться. А для аналоговых синхронизаторов, особенно использующих биения, расхождение напряжений синхронизируемого генератора и системы по значению таит в себе большую опасность значительной погрешности в определении угла опережения, что в итоге приведёт к недопустимо большому углу включения. По этой причине в синхронизаторах предусматривается блокирование сигнала на включение выключателя при превышении разности синхронизируемых напряжений выше определённого порога. Например, в синхронизаторе СА-1 этот порог принят на уровне 15% от номинального значения и расчёту не подлежит.

1.3.8 Максимально допустимые угол опережения и скольжение взаимосвязаны. Как было показано выше, большой угол опережения имеет место при большом скольжении. Это означает, что генератор не достаточно точно раскручен, его скорость очень сильно отличается от номинальной, и при таких условиях не может быть гарантирована успешная синхронизация, поскольку не могут выполняться допущения, заложенные в принцип работы синхронизатора. Например, это неизменность скорости генератора в течение времени опережения для синхронизатора АСТ-4 или неизменность ускорения генератора для

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

синхронизатора СА-1. В итоге это может привести к недопустимо большому углу δ в момент замыкания контактов выключателя. Поэтому для разных типов синхронизаторов разработчиками устанавливаются свои предельно возможные значения по максимально допустимому углу опережения и скольжению.

1.3.9 Таким образом, можно сделать вывод, что успешное функционирование синхронизатора напрямую связано с работоспособностью и быстродействием систем релейной защиты. Следовательно, для обеспечения функционирования микропроцессорных устройств (МП) и устройств вторичной коммутации (электродвигатели) необходимо обеспечить уровень электромагнитных воздействий на МП не выше предельно допустимого. Для этого необходимо выполнить комплекс мероприятий, обеспечивающих электромагнитную совместимость устройств РЗА, ПА и связи.

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

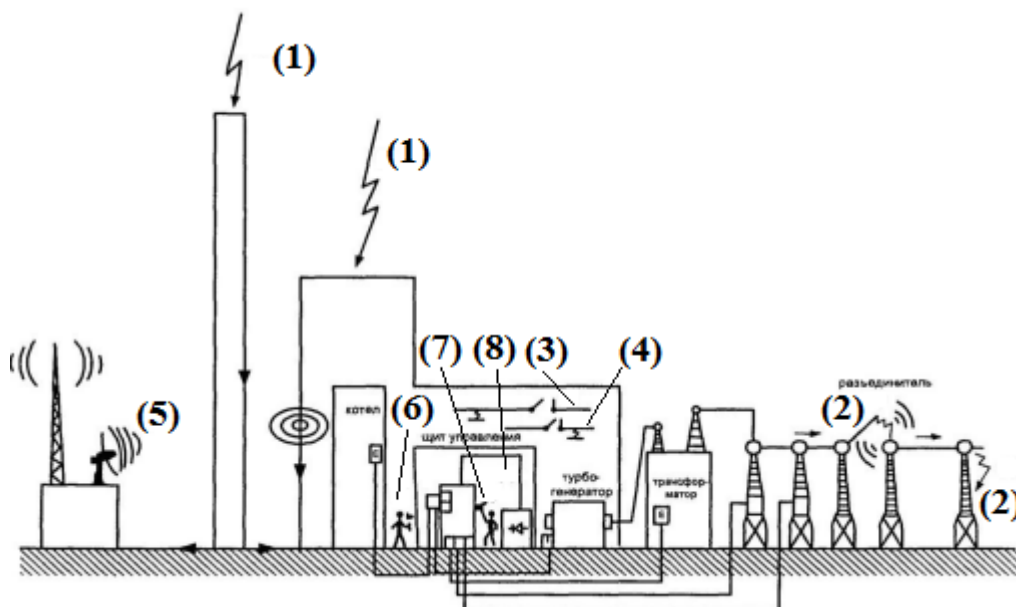
2. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ УСТРОЙСТВ.

2.1. Понятие электромагнитной совместимости

2.1.1. Электромагнитная совместимость микропроцессорных устройств подразумевает, что на объекте должна быть обеспечена такая электромагнитная обстановка, когда при любых режимах работы величины возникающих электромагнитных помех не превышают допустимых уровней для вторичных цепей и МП устройств. Методика определения электромагнитной обстановки предусматривает проведение измерений и расчетов, необходимых для получения данных о максимально возможных уровнях электромагнитных помех, воздействующих на терминалы устройств. Источники помех имеют различную природу, а именно: является помехой естественного происхождения, помехи искусственного происхождения, имеют двойную природу происхождения в зависимости от источника помехи. Природой возникновения естественных помех являются грозовые разряды и геомагнитные явления. Возникновение искусственных помех обусловлено работой электрооборудования (генераторов, двигателей), воздушных и кабельных линий, силовых установок (трансформаторов, реакторов), а также электронных и МП устройств, используемых для управления и защиты.

2.1.2. Переход в современных условиях к микропроцессорным устройствам автоматики и релейной защиты, как правило, выполняющих одновременно несколько функций управления, обусловил дальнейшую проработку способов защиты от электромагнитных помех и выделению вопросов электромагнитной совместимости в отдельный учебный курс электроэнергетических специальностей.

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



1 – удар молнии; 2 – переключения и короткие замыкания (КЗ) в сети высокого напряжения; 3 – переключения и КЗ в сети среднего напряжения (СН); 4 – переключения и КЗ в сети низкого напряжения (НН); 5 – внешние источники радиочастотных излучений; 6 – внутренние источники радиочастотных излучений; 7 – разряды статического электричества; 8 – источники кондуктивных помех по цепям питания.

Рисунок 1- Источники электромагнитных воздействий на ЭС

2.2. Источники электромагнитных помех

2.2.1. ЭМО на электрических станциях и подстанциях зависит от ЭМП, возникающих на этих объектах. Источниками ЭМП являются следующие явления:

- переходные процессы в цепях высокого напряжения при коммутациях силовыми выключателями и разъединителями;
- переходные процессы в цепях высокого напряжения при коротких замыканиях, срабатываниях разрядников или ограничителей перенапряжений;
- электрические и магнитные поля промышленной частоты, создаваемые силовым оборудованием станций и подстанций;
- быстрые переходные процессы при коммутациях в индуктивных цепях низкого напряжения;
- переходные процессы в цепях различных классов напряжения при ударах молнии непосредственно в объект или вблизи него;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.02.2017.13-155ПЗ

Лист

18

- разряды статического электричества;
- радиочастотные поля различного происхождения;
- электромагнитные возмущения в цепях оперативного тока.

Дополнительные ЭМП может создавать различное вспомогательное оборудование: электроинструменты, сварочные аппараты, преобразователи частоты и т. д.

2.2.2. Методическими указаниями по определению ЭМС и уровней совместимости на электрических станциях и подстанциях установлено четыре класса ЭМО:

Класс 1. Легкая электромагнитная обстановка:

- осуществлены оптимизационные и скоординированные мероприятия по подавлению помех и защите от перенапряжений во всех цепях;
- электропитание отдельных элементов устройства зарезервировано, силовые и сигнальные цепи выполнены отдельно;
- климатические условия контролируются и приняты специальные меры по предотвращению разрядов статического электричества.

Класс 2. Электромагнитная обстановка средней тяжести:

- цепи питания и управления частично оборудованы помехозащищенными устройствами и устройствами для защиты от перенапряжений;
- отсутствуют силовые выключатели, устройства для отключения конденсаторов, катушек индуктивностей;
- электропитание устройств автоматизированных систем технологического управления осуществляется от сетевых стабилизаторов;
- имеется тщательно выполненное заземляющее устройство;
- токовые контуры разделены гальванически;
- предусмотрено регулирование влажности воздуха и отсутствуют материалы, способные электризоваться трением;
- запрещено применение радиопереговорных устройств и передатчиков.

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

Такая ЭМО типична для диспетчерских помещений электростанций и подстанций.

Класс 3. Жесткая электромагнитная обстановка:

- защита от перенапряжений в силовых цепях и цепях управления не предусмотрена;
- повторное зажигание дуг в коммутационных аппаратах не происходит;
- имеется заземляющее устройство;
- провода электропитания, управления и коммутационных цепей недостаточно разделены;
- кабели линий передачи данных, сигнализации, управления разделены;
- относительная влажность воздуха поддерживается в определенных пределах, и отсутствуют материалы, способные электризоваться трением;
- использование переносных радиопереговорных устройств ограничено (установлено расстояние, на которое с этими устройствами нельзя приближаться к приборам). Такая ЭМО характерна для электростанций и релейных помещений подстанций.

Класс 4. Крайне жесткая электромагнитная обстановка:

- защита в цепях управления, сигнализации и электропитания от перенапряжений отсутствует;
- имеются коммутационные устройства, в аппаратах которых возможно повторное зажигание дуги;
- существует неопределенность в выполнении заземляющего устройства;
- нет пространственного разделения кабелей электропитания и управления;
- управление и сигнализация осуществляются по общим кабелям;
- возможна любая влажность воздуха и наличие электризуемых трением материалов;
- возможно неограниченное использование переносных переговорных устройств;
- возможно наличие мощных радиопередатчиков;

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

– возможно наличие дуговых технологических устройств (электропечей, сварочных машин и т. п.).

Типичными для данного класса ЭМО являются территории вблизи электростанций, открытых распределительных устройств станций и подстанций, где не предусмотрены специальные меры по обеспечению ЭМС. Для ЭМО на объектах энергетики характерно наличие постоянных по времени высоких напряженностей электрического поля промышленной частоты (до 25 кВ/м) и напряженностей магнитного поля промышленной частоты (до 103 А/м). Частотный диапазон различных помех составляет от 0 до 109 Гц.

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ

3.1. Методика расчета ЭМО

3.1.1. Методика определения ЭМО на энергетическом объекте включает в себя следующие основные этапы:

- 1) получение исходных данных об энергообъекте для проведения работ;
- 2) экспериментально-расчетное определение ЭМО на объекте;
- 3) определение соответствия между уровнями помехоустойчивости устройств АСТУ, установленных на объекте, и ЭМО в местах размещения этих устройств или степени жесткости испытаний на помехоустойчивость устройств, которые будут установлены на объекте.

3.2. Краткая характеристика объекта

3.2.1. В соответствии с проектом на ГРЭС устанавливаются два блока ПГУ-400 МВт. Каждый энергоблок ПГУ с соответствующим вспомогательным оборудованием и сооружениями представляет собой пусковой комплекс. Энергоблок № 2, ячейки № 1 и № 5 ОРУ-110 кВ, ОРУ-220кВ, входят во второй пусковой комплекс.

В состав основного электрооборудования каждого блока ПГУ-400 входит генератор SGen5-2000H, сопрягаемый с газовой и паровой турбинами. В цепи генератора предусмотрен элегазовый генераторный выключатель производства фирмы «ABB». Блочный повышающий трансформатор типа ТНЦ-630000/220 УХЛ1 производства ОАО «Запорожский трансформаторный завод». Связь генераторов с повышающим трансформатором осуществляется с помощью закрытых экранированных токопроводов с естественным охлаждением. С блоком ПГУ-400 предусматривается установка рабочего трансформатора собственных нужд с расщепленной обмоткой типа ТРДНС-32000/35 УХЛ1, подсоединяемого отпайкой от токопровода генератор-трансформатор между генераторным выключателем и блочным трансформатором.

3.2.2. В рамках второго пускового комплекса будут оборудованы две ячейки ОРУ- 220 кВ, к которым будут подключены: энергоблок №2 ПГУ-400 (ячейка № 5) и АТ 220/110 кВ (ячейка № 1). Связь блока ПГУ-400 с ОРУ-220 кВ и ОРУ-110 кВ будет осуществляться посредством гибкой связи 220 кВ.

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Автотрансформаторы связи типа АОД-ЦТН-167000/220/110-УХЛ1 будут установлены на территории ОРУ-220 кВ.

Сооружаемое ОРУ-220 кВ будет выполнено по «полторной схеме». К шинам ОРУ-220 кВ через два выключателя будут подключены ВЛ 220 кВ Южноуральская ГРЭС-2 - Троицкая ГРЭС, ВЛ 220 кВ Южноуральская ГРЭС - Шагол и группа из трех однофазных АТ 220/110 кВ. Группа из трех однофазных шунтирующих реакторов 220 кВ подключается к шинам 220 кВ через один выключатель.

На ОРУ-220 кВ установлены однофазные колонковые элегазовые выключатели типа 3АР2FI-550, трансформаторы тока типа IOSK 550, емкостные трансформаторы напряжения типа ТЕМР 550, разъединители типа D ВF6-550+2AE ВF2 и D ВF6-550+AE ВF2, заземлитель типа ЗППА-500.11/3150 УХЛ1, конденсаторы связи, ограничители перенапряжений типа ЗЕР2 399-ЗРН43-2NE1.

Питание потребителей 380/220 В ОРУ-220 кВ и БВС осуществляется по схеме TN-C-S от РУСН-0,4 кВ, установленного в здании БВС.

3.2.3. Контрольные кабели цепей управления, измерения и сигнализации на ОРУ- 220 кВ прокладываются в кабельных каналах, на расстоянии не менее 10 м в свету от основания фундаментов (стоек) с молниеотводами и ОПН.

На ОРУ-220 кВ применяются силовые кабели 0,4 кВ следующих типов:

АПвВГнг (неэкранированный) - магистральные линии 0,4 кВ от РУСН-0,4 кВ, от ЩПТ БВС до ящиков питания и обогрева приводов выключателей и разъединителей;

ПвВГнг (неэкранированный) от ящиков питания приводов разъединителей к выносным шкафам управления приводами разъединителей;

ПвВбШнг (бронированный) - от ящиков питания и обогрева привода выключателей до центрального шкафа управления выключателями, от выносных шкафов управления приводами разъединителей к приводам разъединителей и к обогреву приводов разъединителей, от ящиков питания приводов разъединителей к обогреву шкафов ТН.

3.2.4. Все продольные металлические элементы в кабельном канале, к которым крепятся кабельные конструкции, соединены с контуром защитного

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
						23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

заземления. Металлические оболочки и броня кабелей цепей управления, измерения и сигнализации, а также силовых бронированных кабелей питания приводов выключателей и разъединителей присоединяются к ЗУ в местах концевой разделки кабелей (с двух сторон).

3.2.5. В помещении РЩ ОРУ-220 кВ здания БВС устанавливаются следующие низковольтные комплектные устройства:

- шкафы автоматики управления выключателями всех ВЛ 220 кВ и ШР 220 кВ;
- шкафы основной защиты всех ВЛ 220 кВ;
- шкафы резервной защиты всех ВЛ 220 кВ;
- шкаф определения места повреждения всех ВЛ 220 кВ;
- шкафы регистраторов аварийных событий 220 кВ;
- шкафы МКПА всех ВЛ 220 кВ, СШ и ШР 220 кВ;
- шкафы ПРД, ПРМ всех ВЛ 220 кВ;
- шкаф счетчиков ОРУ-220 кВ;
- шкафы защит ШР 220 кВ;
- шкафы распределения оперативного тока.

ЗУ ОРУ-220 кВ выполнено по требованиям к сопротивлению ЗУ из продольных и поперечных горизонтальных заземлителей из стали оцинкованной сечением 50х6 мм, проложенных на глубине 0,7-0,9 м, соединенных с вертикальными стержневыми заземлителями.

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
						24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4. РАСЧЕТ УРОВНЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЙ НАВЕДЕННЫХ ПОМЕХ

4.1. Расчет полевых помех при КЗ

4.1.1. Методика расчета

Для проведения расчетов использовались чертежи: «ОРУ-220 кВ. Монтажные чертежи. 122N15A-21UAA-12692-ED, л. 3 – 5», «Релейная защита и автоматика ВЛ 220 кВ и ШР 220 кВ. Пояснительная записка. 7048/1-1ВЛ-ИТР-309-15РЭ-3 Э5, л. 1». Расчетные схемы в программе «EMI analyzer» представлены на рисунках А.9 и А. 10 приложения А. Сопротивление грунта принято равным 20 Ом*м.

При расчетах учитывались следующие коэффициенты экранирования:

- коэффициент экранирования контрольных кабелей с двухсторонним заземлением экранов - 10 [4];
- коэффициенты экранирования заглубленного кабельного канала для соответствующих участков трасс прокладки контрольных кабелей - 10 [4].
- При прокладке экранированного кабеля в кабельном канале - коэффициенты экранирования перемножаются.

4.1.2. Результаты расчета наведенных помех при КЗ

Результаты расчета полевых помех при КЗ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета полевых помех при КЗ

Кабель (вид цепей)	Место КЗ	ВЧ ток в месте КЗ, кА	Напряжение на входе МП устройства, кВ	Допустимое напряжение на входе МП устройств, кВ	Выводы
КЗ на ОРУ-220 кВ					
Цепи ВЧ связи	КС ВЛ Троицкая ГРЭС	7,8	0,18	2,5	В норме
Цепи ВЧ связи	КС ВЛ Шагол	7,0	0,12	2,5	В норме
Цепи ТН	1-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС	5,0	0,04	2,5	В норме
Цепи ТН	1-ТН ВЛ Шагол	5,8	0,05	2,5	В норме
Цепи ТН	2-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС	5,5	0,03	2,5	В норме
Цепи ТН	2-ТН ВЛ Шагол	5,5	0,05	2,5	В норме
Цепи ТН	ТН 1 СШ	4,5	0,03	2,5	В норме

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

13.03.02.2017.13-155ПЗ

Лист

25

Продолжение таблицы 1

Кабель (вид цепей)	Место КЗ	ВЧ ток в месте КЗ, кА	Напряжение на входе МП устройства, кВ	Допустимое напряжение на входе МП устройств, кВ	Выводы
Цепи ТН	ТН 2СШ	4,3	0,07	2,5	В норме
Цепи ТН	ТН АТ	4,2	0,05	2,5	В норме
Цепи упр.	1-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС	5,2	0,02	2,5	В норме
Цепи упр.	1-ЭВ-1 ВЛ Шагол	5,5	0,04	2,5	В норме
Цепи упр.	1-ЭВ-1 ШР 220	4,4	0,03	2,5	В норме
Цепи упр.	1-ЭВ-2 ВЛ Троицкая ГРЭС	5,5	0,04	2,5	В норме
Цепи упр.	2-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС	4,0	0,03	2,5	В норме
Цепи упр.	2-ЭВ-1 ВЛ Шагол	4,5	0,04	2,5	В норме
Цепи ТТ	ТТ 1-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС	5,0	0,03	2,5	В норме
Цепи ТТ	ТТ 1-ЭВ-1 ВЛ Шагол	5,2	0,05	2,5	В норме
Цепи ТТ	ТТ 1-ЭВ-1 ШР 220	4,0	0,04	2,5	В норме
Цепи ТТ	ТТ 1-ЭВ-2 ВЛ Троицкая ГРЭС	5,5	0,03	2,5	В норме
Цепи ТТ	ТТ 2-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС	4,3	0,03	2,5	В норме
Цепи ТТ	ТТ 2-ЭВ-1 ВЛ Шагол	4,5	0,05	2,5	В норме
Цепи защит	ШР 220	4,4	0,06	2,5	В норме

4.1.3. Результаты расчета полевых помех при коммутациях разъединителями и выключателями на ОРУ-220 кВ приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты расчета импульсных полевых помех при коммутациях

Кабель (вид цепей)	Трасса прокладки кабеля	Вид коммутации	Наибольшее напряжение на устройстве, кВ	Допустимое напряжение на входе МП устройств, кВ	Выводы
Коммутации на ОРУ-220 кВ					
Цепи ТН	ТН 1 СШ – БВС	Вкл. Р-1-ТН-СШ	0,02	2,5	В норме
Цепи ТН	ТН 2 СШ – БВС	Вкл. Р-2-ТН-СШ	0,05	2,5	В норме
Цепи ТН	ТН АТ – БВС	Вкл. Р-ТН-АТ	0,07	2,5	В норме
Цепи ТН	ТН АТ – БВС	Вкл. Р-ТН-АТ	0,07	2,5	В норме
Цепи ТН	1-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС – БВС	Вкл. Р-1-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС	0,04	2,5	В норме
Цепи ТН	2-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС – БВС	Вкл. Р-2-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС	0,04	2,5	В норме
Цепи ТН	1-ТН ВЛ Шагол – БВС	Вкл. Р-1-ТН ВЛ Шагол	0,03	2,5	В норме
Цепи ТН	2-ТН ВЛ Шагол – БВС	Вкл. Р-2-ТН ВЛ Шагол	0,03	2,5	В норме
Цепи упр.	1-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС – БВС	Вкл. 1-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС	0,03	2,5	В норме
Цепи ТТ	ТТ 1-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС – БВС	Вкл. 1-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС	0,02	2,5	В норме
Цепи упр.	1-ЭВ-1 ВЛ Шагол- БВС	Вкл. 1-ЭВ-1 ВЛ Шагол	0,02	2,5	В норме
Цепи ТТ	ТТ 1-ЭВ-1 ВЛ Шагол – БВС	Вкл. 1-ЭВ-1 ВЛ Шагол	0,02	2,5	В норме
Цепи упр.	1-ЭВ-2 ВЛ Троицкая ГРЭС – БВС	Вкл. 1-ЭВ-2 ВЛ Троицкая ГРЭС	0,04	2,5	В норме
Цепи ТТ	ТТ 1-ЭВ-2 ВЛ Троицкая ГРЭС – БВС	Вкл. 1-ЭВ-2 ВЛ Троицкая ГРЭС	0,03	2,5	В норме
Цепи упр.	2-ЭВ-1 ВЛ Шагол – БВС	Вкл. 2-ЭВ-1 ВЛ Шагол	0,05	2,5	В норме
Цепи ТТ	ТТ 2-ЭВ-1 ВЛ Шагол – БВС	Вкл. 2-ЭВ-1 ВЛ Шагол	0,04	2,5	В норме
Цепи упр.	2-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС – БВС	Вкл. 2-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС	0,05	2,5	В норме
Цепи ТТ	ТТ 2-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС – БВС	Вкл. 2-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС	0,04	2,5	В норме

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

13.03.02.2017.13-155ПЗ

Лист

27

4.1.4. Выводы

Импульсные помехи на входах МП устройств, установленных в РЩ ОРУ-220 кВ, при КЗ и коммутациях на ОРУ-220 кВ не превысят 0,18 кВ и 0,07 кВ, что не превышает допустимого значения для МП аппаратуры испытанной по третьей степени жесткости - 2,5 кВ, согласно ГОСТ Р 51317.4.12-99 [12].

Наибольшее значение ВЧ тока при КЗ на ОРУ-220 кВ составит 7,8 кА для КС ВЛ Троицкая ГРЭС.

4.2. Расчет помех, возникающих при КЗ

4.2.1. Для проведения расчетов использовались чертежи «Молниезащита и заземление. ОРУ-220 кВ. План. 122N15A-21UAA-12694-ED, л. 2, 3». Расчетная схема ЗУ в программе «ОРУ-Проект» представлена на рисунках А.2, А.3 приложения А. Удельное сопротивление грунта - $\rho_1 = 20 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, $\rho_2 = 18 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, глубина раздела слоев $h = 0,8 \text{ м}$. Величина тока КЗ и частота определялись расчетами в программе «EMI analyzer» для каждого оборудования.

Для проведения расчетов были взяты коэффициенты передачи, измеренные на аналогичных ПС. Коэффициент передачи для цепей ТН и ТТ принят равным 10 о.е., для цепей управления принят равным 20 о.е. для цепей ВЧ связи принят равным 6 о.е.

4.2.2. Результаты расчетов помех, возникающих при КЗ из-за подъема потенциала на ЗУ в ячейках ВЛ ОРУ-220 кВ, приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Результаты расчета помех при КЗ из-за подъема потенциала на ЗУ

Кабель (вид цепей)	Место КЗ	ВЧ ток в месте КЗ, кА	ВЧ сопротивление оборудования, Ом	Коэффициент передачи, о.е.	Напряжение на входе МП устройства, кВ	Допустимое напряжение на входе МП устройств, кВ	Выводы
ОРУ-220 кВ							
Цепи ВЧ связи	КС ВЛ Троицкая ГРЭС	7,8	3,8	6	4,9	2,5	Выше нормы
Цепи ВЧ связи	КС ВЛ Шагол	7,7	4,0	6	5,1	2,5	Выше нормы

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

13.03.02.2017.13-155ПЗ

Лист

28

Продолжение таблицы 3

Кабель (вид цепей)	Место КЗ	ВЧ ток в месте КЗ, кА	ВЧ сопро- тивление оборудо- вания, Ом	Коэф- фициент передачи, о.е.	Напряжение на входе МП устройства, кВ	Допустимое напряжение на входе МП устройств, кВ	Выводы
Цепи ТН	1-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС	5,0	3,9	10	2,0	2,5	В норме
Цепи ТН	1-ТН ВЛ Шагол	5,8	3,7	10	2,1	2,5	В норме
Цепи ТН	2-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС	5,5	3,7	10	2,0	2,5	В норме
Цепи ТН	2-ТН ВЛ Шагол	5,5	3,8	10	2,1	2,5	В норме
Цепи ТН	ТН 1 СШ	4,5	3,6	10	1,6	2,5	В норме
Цепи ТН	ТН 2 СШ	4,3	4,0	10	1,7	2,5	В норме
Цепи ТН	ТНАТ	4,2	4,1	10	1,7	2,5	В норме
Цепи упр.	1-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС	5,2	3,4	20	0,9	2,5	В норме
Цепи упр.	1-ЭВ-1 ВЛ Шагол	5,5	3,3	20	0,9	2,5	В норме
Цепи упр.	1-ЭВ-1 ШР 220	4,4	3,2	20	0,7	2,5	В норме
Цепи упр.	1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС	5,5	3,5	20	1,0	2,5	В норме
Цепи упр.	2-ЭВ-1 Троицкая ГРЭС	4,0	3,4	20	0,7	2,5	В норме
Цепи упр.	2-ЭВ-1 Шагол	4,5	3,4	20	0,8	2,5	В норме
Цепи ТТ	ТТ 1-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС	5,0	3,7	10	1,9	2,5	В норме
Цепи ТТ	ТТ 1-ЭВ-1 В Л Шагол	5,2	3,8	10	2,0	2,5	В норме
Цепи ТТ	ТТ 1-ЭВ-1 ШР 220	4,0	3,5	10	1,4	2,5	В норме
Цепи ТТ	ТТ 1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС	5,5	3,8	10	2,1	2,5	В норме
Цепи ТТ	ТТ 2-ЭВ-1 Троицкая ГРЭС	4,3	3,9	10	1,7	2,5	В норме
Цепи ТТ	ТТ 2-ЭВ-1 Шагол	4,5	3,7	10	1,7	2,5	В норме
Цепи защит	ШР 220	4,4	3,4	8	1,9	2,5	В норме

13.03.02.2017.13-155ПЗ

Лист

29

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

4.2.3. Выводы

1) При КЗ на КС ВЛ Троицкая ГРЭС и КС ВЛ Шагол, уровень импульсных помех на входах МП устройств, использующих цепи ВЧ связи, установленных в РЩ ОРУ-220 кВ, превысит допустимое значение для аппаратуры, испытанной по третьей степени жесткости - 2,5 кВ, согласно ГОСТ Р 51317.4.12-99 [12]. Рекомендуется установить на входах МП устройств, использующих цепи ВЧ связи, варистор типа S20K1000 или аналогичный, при этом предпочтительно применение входящих в заводскую поставку УЗИП.

2) Уровень импульсных помех на входах остальных МП устройств, установленных в РЩ ОРУ-220 кВ, не превысит 2,1 кВ, что не превышает допустимого значения для МП аппаратуры, испытанной по третьей степени жесткости - 2,5 кВ, согласно ГОСТ Р 51317.4.12-99 [12].

4.3. Расчет уровней воздействий импульсных полевых помех, возникающих при ударах молнии

4.3.1. Для проведения расчетов использовался чертеж «ОРУ-220 кВ. Молниезащита и заземление. 122N15A-21UAA-12694-ED, л. 2». Схема расстановки молниеотводов и оборудования ОРУ-220 кВ приведена на рисунке А.1 приложения А. В соответствии с [8], для расчета наведенных помех при ударе молнии принят ток молнии с амплитудой $I_m = 25$ кА и длительностью фронта $t_{фр} = 0,25$ мкс.

Примеры расчетных схем с результатами расчета в программе «EMI analyzer» представлены на рисунках А. 11 - А. 12 приложения А. Сопротивление грунта принято равным 20 Ом*м. В соответствии с [4], коэффициент экранирования для вторичных цепей при ударе молнии принят равным 10 о.е., как для экранированного кабеля с двухсторонним заземлением экранов. Коэффициент экранирования кабельных каналов и здания с металлическим каркасом принят равным 10 о.е.

4.3.2. Результаты расчетов

Результаты расчета в программе «EMI analyzer» излучаемых импульсных помех при ударах молнии в молниеотводы ОРУ-220 кВ представлены в таблице 4.

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 4 - Импульсные излучаемые помехи, вызванные ударами молнии

Наименование молниеотвода	Трасса прокладки кабелей	Вид цепей	Потенциал, наведенный в кабеле, кВ	Напряжение на входе МП устройств, кВ	Допустимое напряжение на входе МП устройств, кВ	Выводы
ОРУ-220 кВ						
М1	КС ВЛ Троицкая ГРЭС - БВС	Цепи ВЧ связи	5,3	0,5	4,0	В норме
	ТН 1 СШ - БВС	Цепи ТН	1,2	0,8	4,0	В норме
	ТН 1 СШ - БВС	Цепи ТН	1,4	0,5	4,0	В норме
М2	1-ТН ВЛ Шагол - БВС	Цепи ТН	5,1	0,3	4,0	В норме
	КС ВЛ Шагол - БВС	Цепи ВЧ связи	1,2	0,5	4,0	В норме
М3	1-ЭВ-1 ШР 220 - БВС	Цепи упр.	1,4	0,9	4,0	В норме
	ТТ 1-ЭВ-1 ШР 220 - БВС	Цепи ТТ	1,0	0,8	4,0	В норме
М4	1-ЭВ-1 ВЛ Шагол - БВС	Цепи упр.	0,1	0,5	4,0	В норме
	ТТ1-ЭВ-1 ВЛ Шагол - БВС	Цепи ТТ	1,0	0,5	4,0	В норме
М5	1-ЭВ-2 ВЛ Троицкая ГРЭС - БВС	Цепи упр.	0,5	0,4	4,0	В норме
М6	1-ЭВ-2 ВЛ Троицкая ГРЭС - БВС	Цепи упр.	0,4	0,3	4,0	В норме
М7	2-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС - БВС	Цепи упр.	1,4	1,4	4,0	В норме
	ТТ 2-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС - БВС	Цепи ТТ	1,4	1,4	4,0	В норме
М8	2-ЭВ-1 ВЛ Шагол - БВС	Цепи упр.	0,4	0,2	4,0	В норме
М9	ТН АТ - БВС	Цепи ТН	2,0	1,7	4,0	В норме
	ШР 220 - БВС	Цепи защит	2,2	1,7	4,0	В норме
М10	ТН 2 СШ - БВС	Цепи ТН	0,3	0,2	4,0	В норме
Трос	БВС	Все цепи	0,5	0,5	4,0	В норме

13.03.02.2017.13-155ПЗ

Лист

31

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

4.3.3. Выводы

1) Уровень импульсных излучаемых помех от ударов молнии на входах МП устройств, установленных в РЩ ОРУ-220 кВ, не превысит 1,7 кВ, что не превышает допустимого значения для МП аппаратуры испытанной по четвертой степени жесткости - 4 кВ, согласно ГОСТ Р 51317.4.5-99 [13].

2) Потенциал, наведенный в кабелях, не превысит допустимого значения для изоляции кабеля - 23 кВ, согласно [9].

4.4. Расчет уровней воздействий импульсных перенапряжений на ЗУ, возникающих при ударах молнии

4.4.1. Для проведения расчетов в программе «ОРУ-Проект» использовался чертеж «Молниезащита и заземление. ОРУ-220 кВ. План. 122N15А-21UAA-12694-ED, л. 2». Схема расстановки молниеотводов и оборудования ОРУ-5СЮ кВ приведена на рисунке А.1 приложения А.

В соответствии с [8], для расчета перенапряжений в ЗУ при ударе молнии принят ток амплитудой $I_m = 100$ кА и длительностью фронта $t_{фP} = 10$ мкс.

Расчетная схема в программе «ОРУ-Проект» представлена на рисунках А.2, А.3 приложения А. Сопротивление грунта принято равным $p_1 = 20$ Ом*м, $p_2 = 18$ Ом*м, глубина раздела слоев $h = 0,8$ м.

4.4.2. Результаты расчета

Результаты расчета импульсных перенапряжений, воздействующих на изоляцию кабелей при ударах молнии, представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Импульсные напряжения, воздействующие на изоляцию кабелей и входы МП устройств при ударах молнии.

Трасса кабеля	Расчетное максимальное напряжение на кабеле, кВ	Напряжение, приложенное к входу МП устройства, кВ	Допустимое напряжение, кВ		Выводы
			На кабеле	На МП устройстве	
ОРУ-220 кВ					
М1, ток молнии 100 кА, сопротивление молниеотвода 0,65 Ом, потенциал на ЗУ 64,9 кВ					
ТН 1 СШ - БВС	8,6	0,86	23,0	4,0	В норме
М2 ток молнии 100 кА, сопротивление молниеотвода 0,66 Ом, потенциал на ЗУ 66,2 кВ					
1-ТН ВЛ Шагол-БВС	4,1	0,41	23,0	4,0	В норме

Продолжение таблицы 5

Трасса кабеля	Расчетное максимальное напряжение на кабеле, кВ	Напряжение, приложенное к входу МП устройства, кВ	Допустимое напряжение, кВ		Выводы
			На кабеле	На МП устройстве	
2-ТН ВЛ Шагол - БВС	3,4	0,34	23,0	4,0	В норме
М3, ток молнии 100 кА, сопротивление молниеотвода 0,50 Ом, потенциал на ЗУ 49,6 кВ					
1-ЭВ-1 ШР 220-БВС	13,9	1,39	23,0	4,0	В норме
ТТ 1-ЭВ-1 ШР 220-БВС	10,4	1,04	23,0	4,0	В норме
М4, ток молнии 100 кА, сопротивление молниеотвода 0,58 Ом, потенциал на ЗУ 57,6 кВ					
1-ЭВ-1 ВЛ Шагол-БВС	4,1	0,41	23,0	4,0	В норме
М5, ток молнии 100 кА, сопротивление молниеотвода 0,58 Ом, потенциал на ЗУ 58,3 кВ					
1-ЭВ-2 ВЛ Троицкая ГРЭС -БВС	3,5	0,35	23,0	4,0	В норме
М6, ток молнии 100 кА, сопротивление молниеотвода 0,67 Ом, потенциал на ЗУ 66,6 кВ					
М7, ток молнии 100 кА, сопротивление молниеотвода 0,59 Ом, потенциал на ЗУ 59,4 кВ					
2-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС -БВС	3,6	0,36	23,0	4,0	В норме
ТТ 2-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС - БВС	3,5	0,35	23,0	4,0	В норме
М8, ток молнии 100 кА, сопротивление молниеотвода 0,70 Ом, потенциал на ЗУ 69,9 кВ					
2-ЭВ-1 ВЛ Шагол - БВС	3,8	0,38	23,0	4,0	В норме
ТТ 2-ЭВ-1 ВЛ Шагол - БВС	3,4	0,34	23,0	4,0	В норме
М9, ток молнии 100 кА, сопротивление молниеотвода 0,54 Ом, потенциал на ЗУ 54,4 кВ					
ШР 220 - БВС	14,6	1,46	23,0	4,0	В норме
ОРУ-220 кВ - БВС (кабельный канал)	18,9	-	23,0	-	В норме
М10, ток молнии 100 кА, сопротивление молниеотвода 0,70 Ом, потенциал на ЗУ 69,7 кВ					
ТН 2 СШ - БВС	4,7	0,47	23,0	4,0	В норме
М11, ток молнии 100 кА, сопротивление молниеотвода 0,81 Ом, потенциал на ЗУ 80,8 кВ					
М12, ток молнии 100 кА, сопротивление молниеотвода 0,69 Ом, потенциал на ЗУ 69,4 кВ					

4.4.3. Выводы

1) Импульсные напряжения от ударов молнии, приложенные к входам МП устройств, не превысят 1,46 кВ, что не превышает допустимого значения для МП аппаратуры испытанной по четвертой степени жесткости - 4 кВ, согласно ГОСТ Р 51317.4.5-99 [13]. Примеры расчетных схем с результатами расчетов представлены на рисунках А.6 - А.8 приложения А.

2) Потенциал, приложенный к изоляции кабелей, не превысит допустимого значения - 23 кВ, согласно [9].

3) Потенциал на ЗУ вблизи кабельного канала не превысит допустимого значение напряжения электрического пробоя 100 кВ/м, согласно [4].

4.5. Расчет уровней воздействий магнитных полей промышленной частоты

4.5.1. Источниками напряженности магнитного поля промышленной частоты являются силовое оборудование и ошиновка ПС. Для проведения расчетов использовались чертежи «ОРУ-220 кВ. Расстановка оборудования. 122N15A-21UAA-12693-ED, л.2», «Генеральный план и внутривозрадные сети и коммуникации. Гибкие связи между ОРУ-220 кВ и ОРУ-220 кВ. Монтажные чертежи. 122N15A-20UNG-1022-ED л. 2». Ток однофазного КЗ в сети 220 кВ составляет 22,33 кА, в сети 110 кВ 47,08 кА.

4.5.2. Результаты расчета

Ближайшим источником напряженности магнитного поля промышленной частоты к РЩ ОРУ-220 кВ являются шины гибкой связи между ОРУ-110 кВ и ОРУ-220 кВ. В нормальном режиме работы оборудования (ток 3150 А по шинам 220 кВ) максимальное значение напряженности магнитного поля промышленной частоты в помещении РЩ ОРУ-220 кВ не превысит 2,68 А/м.

В аварийном режиме, при КЗ на шинах 220 кВ гибкой связи между ОРУ-110 кВ и ОРУ-220 кВ, расчетное максимальное значение напряженности кратковременного магнитного поля в помещении РЩ ОРУ-220 кВ не превысит 236 А/м без учета экранирования стенами и металлоконструкциями здания.

4.5.3. Выводы

1) Для МП аппаратуры, установленной в РЩ ОРУ-220 кВ, напряженность магнитного поля, создаваемого шинами 220 кВ гибкой связи между ОРУ-220 кВ и ОРУ-220 кВ, в нормальном режиме работы не превысит допустимого значения для аппаратуры, испытанной по четвертой степени жесткости - 30 А/м, согласно ГОСТ 50648-94 [14].

2) Для МП аппаратуры, установленной в РЩ ОРУ-220 кВ, напряженность магнитного поля, создаваемого шинами 220 кВ гибкой связи между ОРУ-110 кВ и ОРУ-220 кВ, в аварийном режиме (при КЗ) не превысит допустимого значения

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

для аппаратуры, испытанной по четвертой степени жесткости - 300 А/м, согласно [14].

4.5.4. Определение уровней электромагнитных полей РЧ диапазона

Защиту от внешних электромагнитных полей РЧ диапазона обеспечивают следующие технические решения:

Металлическая обшивка здания БВС;

Размещение МП устройств в металлических шкафах.

Наибольшее воздействие электромагнитных полей РЧ диапазона на МП устройства происходит при использовании переносных радиопередающих устройств вблизи МП аппаратуры. При этом возможными источниками помех могут являться переносные радиостанции, сотовые телефоны и радиотелефоны стандарта DECT.

4.5.5. По результатам измерений фоновая напряженность электромагнитных полей РЧ диапазона в здании БВС не превысит 1,4 мВ/м.

Защиту от импульсных магнитных полей обеспечивают следующие технические решения:

- металлическая обшивка здания;
- размещение МП устройств в металлических шкафах;
- удаление молниеприемников от здания ОПУ.

4.5.6. Результаты расчета

Ближайшими молниеприемниками к помещению РЦ ОРУ-220 кВ здания БВС являются грозозащитный трос гибкой связи между ОРУ-110 кВ и ОРУ-220 кВ и молниеотвод прожекторной мачты М9.

Расчеты проводились с учетом коэффициента экранирования здания с металлическим каркасом - 10 о.е.

При ударе молнии в грозозащитный трос гибкой связи между ОРУ-110 кВ и ОРУ-220 кВ напряженность импульсного магнитного поля в помещении РЦ ОРУ-220 кВ здания БВС составит 21,9 А/м.

При ударе молнии в молниеотвод М9 напряженность импульсного магнитного поля в помещении РЦ ОРУ-220 кВ составит 9,8 А/м.

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

При ударе молнии в молниеприемную сетку здания БВС при расчетах учитывается, что ток молнии растекается равномерно по металлическим колоннам, расположенным по периметру здания (всего 30 шт.). Напряженность импульсного магнитного поля в помещении РЦ ОРУ- 220 кВ составит 207 А/м.

4.5.7. Выводы

1) При ударе молнии в молниеотводы ОРУ-220 кВ и грозозащитный трос гибкой связи между ОРУ-110 кВ и ОРУ-220 кВ, с учетом коэффициента экранирования здания, принятого равным 10 о.е., уровень напряженности импульсного магнитного поля не превысит допустимого значения для аппаратуры, испытанной по четвертой степени жесткости по ГОСТ Р 50649-94 [16] - 300 А/м.

2) При ударе молнии в молниеприемную сетку здания БВС уровень напряженности импульсного магнитного поля не превысит допустимого значения для аппаратуры, испытанной по четвертой степени жесткости по ГОСТ Р 50649-94 [16] - 300 А/м.

4.6. Определение величины напряжения прикосновения при КЗ на ОРУ-220 кВ

4.6.1. Для проведения расчетов использовались чертежи «ОРУ-220 кВ. Расстановка оборудования. 122N15A-21UAA-12693-ED, л.2», «Генеральный план и внутривозрадные сети и коммуникации. Гибкие связи между ОРУ-220 кВ и ОРУ-220 кВ. Монтажные чертежи. 122N15A-20UNG-1022-ED л. 2». Ток однофазного КЗ в сети 220 кВ составляет 22,33 кА, в нейтрали АТ1 5,26 кА.

Таблица 6 - Результаты расчета напряжения прикосновения при КЗ на ОРУ-220 кВ

Место КЗ	Напряжение прикосновения, В	Допустимое напряжение прикосновения, В	Выводы
ОРУ-220 кВ, однофазное КЗ на землю в сети 220 кВ, ток КЗ 22,33 кА, ток в нейтрали АТ1 5,26 кА			
КС ВЛ Троицкая ГРЭС	23	65	В норме
КС ВЛ Шагол	19	65	В норме
1-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС	43	65	В норме
1-ТН ВЛ Шагол	37	65	В норме
2-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС	41	65	В норме

Продолжение таблицы 6

2-ТН ВЛ Шагол	25	65	В норме
ТН 1 СШ	38	65	В норме
ТН 2 СШ	37	65	В норме
ТН АТ	40	65	В норме
1-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС	22	65	В норме
1-ЭВ-1 ВЛ Шагол	16	65	В норме
1-ЭВ-1 ШР 220	18	65	В норме
1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС	11	65	В норме
2-ЭВ-1 Троицкая ГРЭС	17	65	В норме
2-ЭВ-1 Шагол	24	65	В норме
ТТ 1-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС	20	65	В норме
ТТ 1-ЭВ-1 ВЛ Шагол	27	65	В норме
ТТ 1-ЭВ-1 ШР 220	18	65	В норме
ТТ 1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС	32	65	В норме
ТТ 2-ЭВ-1 Троицкая ГРЭС	22	65	В норме
ТТ 2-ЭВ-1 Шагол	13	65	В норме
ШР 220	51	65	В норме

4.6.2. Выводы

Максимальное напряжение прикосновения на ОРУ-220 кВ равно 51 В, что не превышает допустимого значения 65 В для времени действия резервной защиты [10, п.1.7.91], согласно ГОСТ 12.1.038-82 [11].

4.7. Обеспечение защиты от воздействий разрядов статического электричества

4.7.1. Напольное покрытие в помещении РЩ ОРУ-220 кВ выполняется из наливных полиуретановых полов «Universum Компаунд П 01». При применении этого напольного покрытия, электростатический потенциал на теле оператора не превысит допустимого значения для аппаратуры, испытанной по третьей степени жесткости по ГОСТ Р 51317.4.2-2010 [17] - 6 кВ

В помещениях с МП устройствами рекомендуется поддерживать высокий уровень относительной влажности воздуха с помощью систем климат-контроля, увлажнителей или регулярной влажной уборки.

4.7.2. Обеспечение защиты от наносекундных импульсных помех

Для защиты от наносекундных импульсных помех применяются следующие технические решения:

- электромеханические устройства не устанавливаются вблизи МП аппаратуры;
- питание электромеханических и МП устройств осуществляется с разных фидеров;
- выполняется двухстороннее заземление экранов контрольных кабелей.

4.8. Обеспечение защиты от кондуктивных помех

4.8.1. Для защиты вторичных цепей от внешних и внутренних электромагнитных полей применяют следующие технические решения:

- используют экранированные контрольные кабели с двухсторонним заземлением экранов;
- экранирование перекрытиями здания БВС и другими металлоконструкциями здания.
- контрольные и силовые кабели прокладываются на разных кабельных полках, в разных кабельных лотках, в разных коробах;
- в одном контрольном кабеле не прокладываются цепи, по которым передают сигналы различных типов.

4.8.2. Согласно [4], рекомендуется прокладывать контрольные кабели на расстоянии не менее:

- 0,25 м - до силовых кабелей 0,4 кВ, ток КЗ в которых не превышает 1 кА, не используемых для питания потребителей на молниеотводах;
- 0,6 м - до других силовых кабелей до 1 кВ;
- 1,2 м - до силовых кабелей выше 1 кВ.

4.8.3. Для обеспечения защиты МП устройств от кондуктивных помех рекомендуется устанавливать аппаратуру, испытанную по третьей степени жесткости, согласно ГОСТ Р 51317.4.6-99 [20].

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4.9. Воздействие тока КЗ на проводники

4.9.1. При КЗ на землю потенциал на контуре распределяется неравномерно (в месте КЗ имеет место подъем потенциала). Если напряжение на земле превысит значение испытательного напряжения для кабелей, подходящих к оборудованию, возможно возникновение обратного перекрытия на жилы кабелей. Кроме того, ток КЗ, растекаясь по заземленным оболочкам кабелей и экранам, может вызвать превышение допустимых по термической стойкости токовых нагрузок и термическое разрушение оболочек и экранов.

В связи с этим проводились измерения по определению состояния контура заземления объектов, уровней подъема потенциала в месте к.з. и токовой нагрузки на экраны кабелей. При измерениях использовался измерительный комплекс КДЗ-2.

По результатам измерений определялись уровни воздействующих на кабели напряжений и токов и выдавалось заключение по соответствию их норме.

Таблица 6 - Результаты измерений напряжений и токов промышленной частоты при КЗ на ОРУ-220 кВ

Место КЗ	Трасса кабеля	Напряжение, приложенное к изоляции кабеля, В	Расчетный максимальный ток в экране кабеля, А	Допустимое напряжение на кабеле или устройстве, В	Допустимый ток в экране кабеля, А	Выводы
ОРУ-220 кВ, однофазное КЗ на землю в сети 220 кВ, ток КЗ 22,33 кА, ток в нейтрали АТ1 5,26 кА						
КС ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. В	КС ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. В- БВС	485	281	2000	670	В норме
КС ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С	КС ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С - БВС	496	283	2000	670	В норме
КС ВЛ Шагол, ф. А	КС ВЛ Шагол, ф. А-БВС	489	239	2000	670	В норме
КС ВЛ Шагол, ф. В	КС ВЛ Шагол, ф. В-БВС	490	242	2000	670	В норме
1-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. А	1-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. А - БВС	500	476	2000	1800	В норме

Продолжение таблицы 6

Место КЗ	Трасса кабеля	Напряжение, приложенное к изоляции кабеля, В	Расчетный максимальный ток в экране кабеля, А	Допустимое напряжение на кабеле или устройстве, В	Допустимый ток в экране кабеля, А	Выводы
1-ТН В Л Троицкая ГРЭС, ф. В	1-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. В - БВС	478	440	2000	1800	В норме
1-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С	1-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С -	486	440	2000	1800	В норме
1-ТН ВЛ Шагол, ф. А	1-ТН ВЛ Шагол, ф. А-БВС	478	368	2000	1800	В норме
1-ТН ВЛ Шагол, ф. В	1-ТН ВЛ Шагол, ф. В - БВС	494	397	2000	1800	В норме
1-ТН ВЛ Шагол, ф. С	1-ТН ВЛ Шагол, ф. С - БВС	486	440	2000	1800	В норме
2-ТН ВЛ Шагол, ф. А	2-ТН ВЛ Шагол, ф. А-БВС	466	386	2000	1800	В норме
2-ТН ВЛ Шагол, ф. В	2-ТН ВЛ Шагол, ф. В-БВС	472	395	2000	1800	В норме
2-ТН ВЛ Шагол, ф. С	2-ТН ВЛ Шагол, ф. С-БВС	470	393	2000	1800	В норме
2-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. А	2-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. А- БВС	474	473	2000	1800	В норме
2-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. В	2-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. В - БВС	470	476	2000	1800	В норме
2-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С	2-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С - БВС	476	472	2000	1800	В норме
ТН 1 СШ, ф.А	ТН 1 СШ, ф. А- БВС	490	483	2000	1800	В норме
ТН 1 СШ, ф. В	ТН 1 СШ, ф. В- БВС	516	506	2000	1800	В норме
ТН 1 СШ, ф.С	ТН 1 СШ, ф. С- БВС	489	490	2000	1800	В норме
ТН 2 СШ, ф. А	ТН 2 СШ, ф. А- БВС	371	501	2000	1800	В норме

13.03.02.2017.13-155ПЗ

Лист

40

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

Продолжение таблицы 6

Место КЗ	Трасса кабеля	Напряжение, приложенное к изоляции кабеля, В	Расчетный максимальный ток в экране кабеля, А	Допустимое напряжение на кабеле или устройстве, В	Допустимый ток в экране кабеля, А	Выводы
ТН 2 СШ, ф. В	ТН 2СШ, ф. В- БВС	368	496	2000	1800	В норме
ТН 2 СШ, ф. С	ТН 2 СШ, ф. С- БВС	366	493	2000	1800	В норме
ТН АТ, ф. А	ТН АТ, ф. А - БВС	334	573	2000	1800	В норме
ТН АТ, ф. В	ТН АТ, ф. В - БВС	339	582	2000	1800	В норме
ТН АТ, ф. С	ТН АТ, ф. С - БВС	324	556	2000	1800	В норме
1-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. А	1-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. А - БВС	447	287	2000	460	В норме
1-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. В	1-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. В - БВС	451	290	2000	460	В норме
1-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С	1-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С- БВС	450	302	2000	460	В норме
ТТ 1-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. А	ТТ 1-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. А- БВС	467	313	2000	460	В норме
ТТ 1-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. В	ТТ 1-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. В- БВС	455	305	2000	460	В норме
ТТ 1-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С	ТТ 1-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С - БВС	455	309	2000	460	В норме
1-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. А	1-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. А - БВС	452	252	2000	460	В норме
1-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. В	1-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. В - БВС	450	283	2000	460	В норме
1-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. С	1-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. С - БВС	448	271	2000	460	В норме

13.03.02.2017.13-155ПЗ

Лист

41

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

Продолжение таблицы 6

Место КЗ	Трасса кабеля	Напряжение, приложенное к изоляции кабеля, В	Расчетный максимальный ток в экране кабеля, А	Допустимое напряжение на кабеле или устройстве, В	Допустимый ток в экране кабеля, А	Выводы
ТТ 1-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. А	ТТ 1-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. А - БВС	467	264	2000	460	В норме
ТТ 1-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. В	ТТ 1-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. В - БВС	471	266	2000	460	В норме
ТТ 1-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. С	ТТ 1-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. С - БВС	475	269	2000	460	В норме
1-ЭВ-1 ШР 500, ф. А	1-ЭВ-1 ШР 500, ф. А - БВС	302	221	2000	460	В норме
1-ЭВ-1 ШР 500, ф. В	1-ЭВ-1 ШР 500, ф. В - БВС	290	213	2000	460	В норме
1-ЭВ-1 ШР 500, ф. С	1-ЭВ-1 ШР 500, ф. С - БВС	294	216	2000	460	В норме
ТТ 1-ЭВ-1 ШР 500, ф. А	ТТ1-ЭВ-1 ШР 500, ф. А - БВС	462	313	2000	460	В норме
ТТ 1-ЭВ-1 ШР 500, ф. В	ТТ1-ЭВ-1 ШР 500, ф. В - БВС	472	320	2000	460	В норме
ТТ 1-ЭВ-1 ШР 500, ф. С	ТТ1-ЭВ-1 ШР 500, ф. С - БВС	467	317	2000	460	В норме
1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС, ф. А	1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС, ф. А - БВС	412	317	2000	460	В норме
1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС, ф. В	1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС, ф. В - БВС	424	323	2000	460	В норме
1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС, ф. С	1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС, ф. С - БВС	435	331	2000	460	В норме
ТТ 1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС, ф. А	ТТ 1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС, ф. А - БВС	451	344	2000	460	В норме
ТТ 1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС, ф. В	ТТ 1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС, ф. В - БВС	438	335	2000	460	В норме
ТТ 1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС, ф. С	ТТ 1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС, ф. С - БВС	444	352	2000	460	В норме

13.03.02.2017.13-155ПЗ

Лист

42

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

Продолжение таблицы 6

Место КЗ	Трасса кабеля	Напряжение, приложенное к изоляции кабеля, В	Расчетный максимальный ток в экране кабеля, А	Допустимое напряжение на кабеле или устройстве, В	Допустимый ток в экране кабеля, А	Выводы
2-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. А	2-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. А - БВС	359	364	2000	460	В норме
2-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. В	2-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. В - БВС	370	375	2000	460	В норме
2-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С	2-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С - БВС	369	375	2000	460	В норме
ТТ2-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. А	ТТ2-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. А - БВС	382	304	2000	460	В норме
ТТ2-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. В	ТТ2-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. В - БВС	380	389	2000	460	В норме
ТТ2-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С	ТТ2-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С - БВС	391	401	2000	460	В норме
2-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. А	2-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. А - БВС	405	319	2000	460	В норме
2-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. В	2-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. В - БВС	402	317	2000	460	В норме
2-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. С	2-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. С - БВС	394	311	2000	460	В норме
ТТ2-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. А	ТТ2-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. А - БВС	407	323	2000	460	В норме
ТТ2-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. В	ТТ2-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. В - БВС	412	326	2000	460	В норме
ТТ2-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. С	ТТ2-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. С - БВС	408	323	2000	460	В норме
ШР 500, ф. А	ШР 500, ф. А - БВС	323	324	2000	460	В норме
ШР 500, ф. В	ШР 500, ф. В - БВС	316	331	2000	460	В норме

13.03.02.2017.13-155ПЗ

Лист

43

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

Продолжение таблицы 6

Место КЗ	Трасса кабеля	Напряжение, приложенное к изоляции кабеля, В	Расчетный максимальный ток в экране кабеля, А	Допустимое напряжение на кабеле или устройстве, В	Допустимый ток в экране кабеля, А	Выводы
ШР 500, ф. С	ШР 500, ф. С - БВС	319	321	2000	460	В норме

4.9.2. Выводы

1) При однофазных КЗ на ОРУ-220 кВ уровни напряжений промышленной частоты, воздействующие на изоляцию контрольных кабелей, не превысят 516 В, что меньше допустимого значения 2000 В. Токи, протекающие по экранам и броне контрольных кабелей при КЗ на ОРУ-220 кВ, не превысят значений для КВВГЭнг-401 А, ВББШВнг- 582 А и коаксиального кабеля - 283 А, что меньше допустимых значений 460 А для кабеля типа КВВГЭнг, 1800 А для кабеля типа ВББШВнг, 670 А для коаксиального кабеля.

2) Заземляющий проводник и горизонтальный заземлитель, выполненные из стальной оцинкованной полосы 50х6 мм, удовлетворяют требованиям ПУЭ [10] и СТО 56947007-29.130.15.114-2012 [24] по термической стойкости.

3) Расчетное сопротивление ЗУ ОРУ-500 кВ равно 0,04 Ом. С учетом сезонного коэффициента для удельного сопротивления грунта принятого равным 5 [24, 25], сопротивление ЗУ составит 0,14 Ом, что не превышает допустимого значения 0,5 Ом и удовлетворяет требованиям ПУЭ [10, п. 1.7.90].

4) Расчетное значение напряжения на ЗУ ОРУ-220 кВ при КЗ в сети 220 кВ не превысит 3,13 кВ, что меньше допустимого значения (10 кВ), согласно ПУЭ [10, п. 1.7.89]. При этом защита от выноса потенциала не требуется.

5. ИЗМЕРЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ

5.1. Принцип измерения

При коммутациях (через паразитные емкости оборудования на землю) и коротких замыканиях на землю в заземляющих устройствах проходит импульсный ток высокой частоты. На оборудовании возникает скачок потенциала. Возросший потенциал с определенным коэффициентом ослабления передается по кабелям на вход МП устройств.

Для проведения экспериментальных измерений, высокочастотную составляющую тока короткого замыкания имитируют при помощи генератора высокочастотных импульсов. В ходе данного эксперимента использовался прибор ИКП-1, специально предназначенный для измерения импульсных помех. В его состав входит генератор высокочастотных импульсов, создающий высокочастотные импульсы с заданными временно-амплитудными параметрами и импульсный вольтметр для измерения величины создаваемых помех.

5.1.1. Результаты измерения помех при КЗ на ОРУ-220 кВ приведены в таблице 7.

Таблица 7 - Результаты измерения помех при КЗ из-за подъема потенциала на ЗУ

Кабель (вид цепей)	Место КЗ	ВЧ ток в месте КЗ, кА	ВЧ сопро- тивление оборудо- вания, Ом	Коэф- фициент передачи, о.е.	Напряжение на входе МП устройства, кВ	Допустимое напряжение на входе МП устройств, кВ	Выводы
ОРУ-220 кВ							
Цепи ВЧ связи	КС ВЛ Троицкая ГРЭС	8,11	3,7	6	5,21	2,5	Выше нормы
Цепи ВЧ связи	КС ВЛ Шагол	7,85	3,7	6	5,17	2,5	Выше нормы
Цепи ТН	1-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС	5,52	3,8	10	2,14	2,5	В норме
Цепи ТН	1-ТН ВЛ Шагол	5,75	3,7	10	2,17	2,5	В норме
Цепи ТН	2-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС	5,65	3,7	10	1,95	2,5	В норме
Цепи ТН	2-ТН ВЛ Шагол	5,62	3,8	10	2,14	2,5	В норме

13.03.02.2017.13-155ПЗ

Лист

45

Продолжение таблицы 7

Цепи ТН	ТН 1 СШ	4,43	3,6	10	1,62	2,5	В норме
Цепи ТН	ТН 2 СШ	4,32	4,0	10	1,63	2,5	В норме
Цепи ТН	ТНАТ	4,25	4,1	10	1,82	2,5	В норме
Цепи упр.	1-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС	5,26	3,4	20	0,85	2,5	В норме
Цепи упр.	1-ЭВ-1 ВЛ Шагол	5,35	3,3	20	0,93	2,5	В норме
Цепи упр.	1-ЭВ-1 ШР 220	4,43	3,2	20	0,65	2,5	В норме
Цепи упр.	1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС	5,53	3,5	20	1,11	2,5	В норме
Цепи упр.	2-ЭВ-1 Троицкая ГРЭС	4,1	3,4	20	0,72	2,5	В норме
Цепи упр.	2-ЭВ-1 Шагол	4,52	3,4	20	0,8	2,5	В норме
Цепи ТТ	ТТ 1-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС	5,1	3,7	10	1,92	2,5	В норме
Цепи ТТ	ТТ 1-ЭВ-1 В Л Шагол	5,19	3,8	10	2,03	2,5	В норме
Цепи ТТ	ТТ 1-ЭВ-1 ШР 220	4,17	3,5	10	1,35	2,5	В норме
Цепи ТТ	ТТ 1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС	5,2	3,8	10	2,21	2,5	В норме
Цепи ТТ	ТТ 2-ЭВ-1 Троицкая ГРЭС	4,23	3,9	10	1,65	2,5	В норме
Цепи ТТ	ТТ 2-ЭВ-1 Шагол	4,61	3,7	10	1,89	2,5	В норме
Цепи защит	ШР 220	4,5	3,4	8	2,1	2,5	В норме

5.1.2. Выводы

1) При КЗ на КС ВЛ Троицкая ГРЭС и КС ВЛ Шагол, уровень импульсных помех на входах МП устройств, использующих цепи ВЧ связи, установленных в РЩ ОРУ-220 кВ, превысит допустимое значение для аппаратуры, испытанной по третьей степени жесткости - 2,5 кВ, согласно ГОСТ Р 51317.4.12-99 [12]. Рекомендуется установить на входах МП устройств, использующих цепи ВЧ связи, варистор типа S20K1000 или аналогичный, при этом предпочтительно применение входящих в заводскую поставку УЗИП.

2) Уровень импульсных помех на входах остальных МП устройств, установленных в РЩ ОРУ-220 кВ, не превысит 2,21 кВ, что не превышает

допустимого значения для МП аппаратуры, испытанной по третьей степени жесткости - 2,5 кВ, согласно ГОСТ Р 51317.4.12-99 [12].

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
						47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

6. РАССЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ УРОВНЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ И РЕКОМЕНДУЕМЫЕ СТЕПЕНИ ЖЕСТКОСТИ ИСПЫТАНИЙ МП АППАРАТУРЫ

В таблице 7 приведены результаты расчетов уровней электромагнитных воздействий на МП аппаратуру.

Таблица 7 – Расчетные значения уровней электромагнитных и рекомендуемые степени жесткости испытаний.

Электромагнитное воздействие	Вид испытаний на помехоустойчивость	Значение воздействия	Рекомендуемая степень жесткости испытаний (допустимый уровень воздействий)
1. Импульсные помехи, возникающие при КЗ и коммутациях силового оборудования	На устойчивость к колебательным затухающим помехам: - одиночным, - повторяющимся, ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12-96).	5,1 кВ	3 ст. (2,5 кВ) при установке УЗИП в цепях ВЧ связи
2. Импульсные помехи от токов молнии	На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95)	1,7 кВ	4 ст. (4 кВ)
3. Магнитные поля промышленной частоты	На устойчивость к магнитному полю промышленной частоты. ГОСТ Р 50648-94 (МЭК 61000-4-8-93) - в длительном режиме - в кратковременном режиме	2,68 А/м 236 А/м	4 ст. (30 А/м) 4 ст. (300 А/м)
4. Электромагнитные поля радиочастотного диапазона	На устойчивость к излучаемым радиочастотным электромагнитным полям. ГОСТ 30804.4.3-2013 (МЭК 61000-4-3-2008)	0,0014 В/м	3 ст. (10 В/м)
5. Импульсные магнитные поля	На устойчивость к импульсному магнитному полю. ГОСТ Р 50649-94 (МЭК 61000-4-10-93)	207 А/м	4 ст. (300 А/м)

Продолжение таблицы 9

Электромагнитное воздействие	Вид испытаний на помехоустойчивость	Значение воздействия	Рекомендуемая степень жесткости испытаний (допустимый уровень воздействий)
6. Разряды статического электричества	На устойчивость к разрядам статического электричества. ГОСТ Р 50649-94 (МЭК 61000-4-2-2008)	Обеспечивается техническими мероприятиями п.4.7	3 ст. (6 кВ)
7. Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам. ГОСТ 30804.4.4-2013 (МЭК 61000-4-4-95).	Обеспечивается отдельным питанием для электромеханических и МП устройств	4 ст. (4 кВ)
8. Кондуктивные помехи	На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц, воздействующим на порты электропитания и вводы-вывода сигналов. ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96). На устойчивость к кондуктивным помехам в полосе частот от 0 до 150 кГц. ГОСТ Р 51317.4.16-2000 (МЭК 61000-4-16-96).	Обеспечивается двухсторонним заземлением экранов кабелей и раздельной прокладкой силовых и контрольных кабелей	3 ст. (10 В) 3 ст. (30 В)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

13.03.02.2017.13-155ПЗ

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании расчетов электромагнитных помех для МП аппаратуры, устанавливаемой в РЩ ОРУ-220 кВ здания БВС для оборудования ОРУ-220 кВ, получены следующие уровни электромагнитных воздействий:

1) Расчетное значение напряжения на ЗУ ОРУ-220 кВ при КЗ в сети 220 кВ не превысит 3,13 кВ, что меньше допустимого значения (10 кВ), согласно ПУЭ [10, п. 1.7.89].

2) Максимальное напряжение прикосновения на ОРУ-600 кВ в ячейках ВЛ равно 51 В, что не превышает допустимого значения 65 В для времени действия резервной защиты [10, п.1.7.91], согласно ГОСТ 12.1.038-82 [11].

3) При КЗ на КС ВЛ Троицкая ГРЭС и КС ВЛ Шагол уровень импульсных помех на входах МП устройств, использующих цепи ВЧ связи, превысит допустимое значение для аппаратуры, испытанной по третьей степени жесткости - 2,5 кВ, согласно ГОСТ Р 51317.4.12-99 [12].

4) Уровень наведенных помех при коммутациях и коротких замыканиях на остальном оборудовании ОРУ-220 кВ не превысит 2,1 кВ, что соответствует уровню испытаний МП аппаратуры по третьей степени жесткости, согласно ГОСТ Р 51317.4.12- 99 [12].

5) Импульсные напряжения при ударах молнии, приложенные к входам МП устройств, не превысят допустимого значения для аппаратуры, испытанной по четвертой степени жесткости - 4 кВ, согласно ГОСТ Р 51317.4.5-99 [13].

6) Потенциал, приложенный к изоляции кабелей, не превысит допустимого значения - 23 кВ, согласно [9].

7) Потенциал на ЗУ вблизи кабельных каналов не превысит допустимого значения напряжения электрического пробоя 100 кВ/м, согласно [4].

8) Для защиты от внутренних источников поля - переносных радиопередающих устройств рекомендуется устанавливать МП аппаратуру, испытанную по третьей степени жесткости согласно ГОСТ 30804.4.3-2013 [15], и ограничить применение радиостанций и сотовых телефонов.

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

9) Напряженность импульсного магнитного поля в помещении РЩ ОРУ-220 кВ и в местах установки МП аппаратуры составляет 207 А/м и не превышает допустимого значения для МП аппаратуры, испытанной по четвертой степени жесткости, согласно ГОСТ Р 50649-94 - 300 А/м [16].

10) При существующем напольном покрытии (наливной пол) на РЩ (ЭРУ-220 кВ и поддержании высокой относительной влажности уровень электростатического потенциала не превысит 6 кВ. Рекомендуется устанавливать МП аппаратуру, испытанную по третьей степени жесткости испытаний, согласно ГОСТ Р 51317.4.2-2010 [17].

11) Наносекундные импульсные помехи не превысят допустимого значения для МП устройств, испытанных по четвертой степени жесткости, согласно ГОСТ 30804.4.4- 2013 [6], при установке электромеханических устройств и МП аппаратуры на разных панелях и их питании с разных фидеров.

12) Кондуктивные помехи не превысят допустимого значения для МП устройств, испытанных по третьей степени жесткости 10 В, согласно ГОСТ Р 51317.4.6-99 [20], при использовании экранированных контрольных кабелей с двухсторонним заземлением.

При выполнении вышеуказанных рекомендаций, ЭМС устанавливаемых МП устройств для оборудования ячеек ВЛ ОРУ-220 кВ и ШР 220 кВ будет обеспечена.

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
						51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СТО 56947007-29.240.10.028-2009. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ. Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС».
2. ГОСТ Р 51317.4.1-2000 (МЭК 61000-4-1-2000). Совместимость технических средств электромагнитная. Испытания на помехоустойчивость. Виды испытаний.
3. 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. Требования и методы испытаний.
4. СТО 56947007-29.240.044-2010. Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства. Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС».
5. СТО 56947007-24.240.043-2010. Руководство по обеспечению электромагнитной совместимости вторичного оборудования и систем связи электросетевых объектов. Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС».
6. ГОСТ 30804.4.4-2013 (МЭК 61000-4-4:2004). «Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к наносекундным импульсным помехам. Требования и методы испытаний».
7. СО 153-34.20.501-2003. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. - Москва: СПО ОРГРЭС, 2003.
8. СО 153-34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. - Москва: Издательство МЭИ, 2004.
9. ГОСТ 23286-78. Кабели, провода, шнуры. Нормы толщин изоляции оболочек и испытаний напряжением.
10. Правила устройства электроустановок. Издание седьмое. Глава 1.7. Глава 4.2. - Москва: ЭНАС, 2002.

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
						52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

11. ГОСТ 12.1.038-82. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
12. ГОСТ Р 51317.4.12-99. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к колебательным затухающим помехам. Требования и методы испытаний.
13. ГОСТ Р 51317.4.5-99. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. Требования и методы испытания.
14. ГОСТ Р 50648-94. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к магнитному полю промышленной частоты. Требования и методы испытаний.
15. ГОСТ 30804.4.3-2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю. Требования и методы испытаний.
16. ГОСТ Р 50649-94. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к импульсному магнитному полю. Требования и методы испытаний.
17. ГОСТ Р 51317.4.2-2010. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электростатическим разрядам. Требования и методы испытаний.
18. ГОСТ Р 51317.4.17-2000. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к пульсациям напряжения электропитания постоянного тока. Требования и методы испытаний.
19. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
20. ГОСТ Р 51317.4.6-99. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к кондуктивным помехам, наведенным радиочастотными электромагнитными полями. Требования и методы испытаний.

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

21. ГОСТ Р 51317.4.16-2000. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к кондуктивным помехам в полосе частот от 0 до 150 кГц. Требования и методы испытаний.

22. ГОСТ 61000-4-11:2004. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к провалам, кратковременным прерываниям и изменениям напряжения электропитания. ПАО «ФСК ЕЭС».

23. СО 34.35.311-2004. Методические указания по определению электромагнитной обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях. - Москва: Издательство МЭИ, 2004.

24. СТО 56947007-29.130.15.114-2012. Руководящие указания по проектированию заземляющих устройств подстанций напряжением 6-750 кВ. Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС».

25. РД 153-34.0-20.525-00. Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок. - Москва: СПО ОРГРЭС, 200

					13.03.02.2017.13-155ПЗ	Лист
						54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

