

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

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент, к.т.н

_____ /Журавлев А.М /

« _____ » _____ 2019 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой, к.т.н., доцент

_____ /А.Н.Шишков/

« _____ » _____ 2019 г.

Исследование влияния промышленных помех на надежность работы
электрооборудования и системы автоматики электрических станций и подстанций

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ

ЮУрГУ-13.04.02.2019.161 ВКР

Руководитель, профессор

_____ / М.А.Григорьев /

« _____ » _____ 2019 г.

Автор работы

студент группы П-286

_____ / М.С.Михеев /

« _____ » _____ 2019 г.

Нормоконтролер, доцент, к.т.н.

_____ / А.Е. Бычков /

« _____ » _____ 2019 г.

Челябинск 2019 г.

АННОТАЦИЯ

Михеев М.С. Исследование влияния промышленных помех на надежность работы электрооборудования и системы автоматики электрических станций. Челябинск, ЮУрГУ, П, 2019, 67с., 9 илл., 9 табл. Библиография литературы – 25 наименований

Целью данной выпускной квалификационной научной работы является исследование влияния промышленных помех на надежность работы электрооборудования и системы автоматики электрических станций и подстанций

В ходе выполнения данной работы была экспериментально проверена совместимость электрооборудования и систем автоматики частотной разгрузки на станции ГРЭС-2.

Был рассчитан предельный уровень электромагнитных помех различных видов. При помощи прибора ИКП-1 был экспериментально измерен уровень импульсных помех при КЗ на линии.

Выбраны рекомендуемые критерии жесткости для микропроцессорных устройств.

Выданы рекомендации по улучшению ЭМО на объекте.

| | | | | | | | | |
|-----------|-------------|----------|---------|------|--|------------------------|------|--------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ПЗ | | | |
| | | | | | | | | |
| | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | |
| Разраб. | Михеев М.С. | | | | <i>Исследование влияния промышленных помех на надежность работы электрооборудования и систем автоматики электрических станций и подстанций</i> | Лит. | Лист | Листов |
| Провер. | Григорьев | | | | | | 4 | 68 |
| Рецензент | | | | | | ЮУрГУ Кафедра «АЭП» | | |
| Н. Контр. | Бычков А.Е. | | | | | | | |
| Утверд. | Шишков А.Н | | | | | | | |

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 7 |
| 1 ЭЛЕМЕНТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ УЧАСТКОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ | 8 |
| 1.1 Понятие частотного регулирования | 8 |
| 1.2 Автоматы частотной разгрузки..... | 9 |
| 1.3 Ложные срабатывания АЧР | 15 |
| 2 ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ УСТРОЙСТВ. | 17 |
| 2.1 Понятие электромагнитной совместимости..... | 17 |
| 2.2 Источники электромагнитных помех | 18 |
| 3 МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ | 22 |
| 3.1 Методика расчета ЭМО вблизи линии электропередач..... | 22 |
| 3.2 Методика определения электромагнитной совместимости при ударах молнии | 30 |
| 3.3 Влияние ЭМ полей радиочастотного диапазона на ЭМС..... | 32 |
| 3.4 Краткая характеристика объекта | 33 |
| 4 РАСЧЕТ УРОВНЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЙ НАВЕДЕННЫХ ПОМЕХ | 37 |
| 4.1 Расчет полевых помех при КЗ..... | 37 |
| 4.2 Расчет помех, возникающих при КЗ | 40 |
| 4.3 Расчет уровней воздействий импульсных полевых помех, возникающих при ударах молнии | 43 |
| 4.4 Расчет уровней воздействий импульсных перенапряжений на ЗУ, возникающих при ударах молнии | 45 |
| 4.5 Расчет уровней воздействий электромагнитных полей промышленной частоты | 47 |
| 4.6 Определение величины напряжения прикосновения при КЗ на ОРУ-220 .. | 49 |
| 4.7 Обеспечение защиты от воздействий разрядов статического электричества | 50 |
| 4.8 Обеспечение защиты от кондуктивных помех | 51 |
| 4.9 Воздействие тока КЗ на проводники..... | 52 |
| 5. ИЗМЕРЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ..... | 58 |
| 5.1 Принцип измерения амплитуды импульсных помех | 58 |

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 5 |

6 РАСЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ УРОВНЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ И РЕКОМЕНДУЕМЫЕ СТЕПЕНИ ЖЕСТКОСТИ ИСПЫТАНИЙ МП АППАРАТУРЫ..... 61

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 63

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК..... 65

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 6 |

ВВЕДЕНИЕ

Электроэнергетика является одной из наиболее важных отраслей народного хозяйства. Специфичность ее технологических процессов, необходимость обеспечения бесперебойной работы параллельно работающего электрооборудования с различными особенностями и режимами энергопотребления, непрерывность обеспечиваемых процессов производства, передачи и потребления электроэнергии, а так же высокая скорость протекания процессов в сетях электроснабжения требует недоступных человеку скорости и точности реакций. Взаимосвязь процессов, протекающих в энергосистеме, ведет к влиянию аварийного режима работы одного из элементов на работоспособность остальных, тем самым негативно влияя на работу всей системы. В ряде случаев, нестабильность энергоснабжения потребителей приводит к серьезным нарушениям технологического процесса, ведущие к нарушению работы предприятий.

Особенностью современных систем энергоснабжения является высочайшая скорость протекания процессов, что приводит к неспособности оперативного персонала полноценно контролировать обслуживаемую сеть вследствие ограниченной скорости реакции человека. Все это влечет за собой необходимость широкой автоматизации энергетических систем: оснащение их автоматическими устройствами (механическими либо электро-механическими), управляющими процессами, протекающими в сети.

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

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).

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 7 |

1 ЭЛЕМЕНТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ УЧАСТКОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

1.1 Понятие частотного регулирования

Современные технологические процессы рассчитаны на питание с частотой 50 Гц, которая должна стабильно поддерживаться в энергосистеме. Системы регулирования частоты могут поддерживать требуемые значения ($50\text{Гц}\pm 2\%$) лишь в том случае, пока в сети имеется достаточный запас активной мощности. В случае исчерпания этого резерва (например в случае отключения некоторого количества генерирующих установок или появления в сети мощного потребителя), системы поддержания не смогут поддерживать частоту на заданном уровне и частота в энергосети начнет «проседать».

Падение частоты ниже допустимого диапазона представляет серьезную опасность для нормальной работы энергосистемы. Просадка частоты ведет к изменению параметров работы электроприводов, питаемых от этой сети, что может привести к нарушению производственного процесса и ущербу оборудованию и жизни и здоровью персонала предприятий. Так-же меняются режим работы электроприводов генерирующих станций, что может привести к снижению эффективности их работы и дальнейшему падению генерируемой мощности. Таким образом образуется положительная обратная связь, направленная на дальнейшее снижение мощности, а следовательно и частоты, в сети. Происходящий при этом процесс называется «лавиной частоты» и может привести к полному расстройству энергоснабжения. В дополнение к этому следует отметить, что большая часть оборудования ТЭЦ не приспособлено к эксплуатации на пониженной частоте.

Вместе со снижением частоты, в энергосистеме также происходит процесс снижения напряжения, вызванный уменьшением частоты вращения синхронных возбудителей, установленных на общем валу с основными генераторами. В случае, если регуляторы возбуждения генераторов и синхронных компенсаторов не смогут удержать напряжение в рабочем диапазоне, может возникнуть

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 8 |

лавинοобразный процесс «лавина напряжения», поскольку снижение напряжения сопровождается увеличением потребления реактивной мощности, что еще более осложнит положение в энергосистеме.

Как и другие процессы в сетях электроснабжения, лавинοобразное снижение частоты в энергосистеме происходит в течении десятых долей секунды, что ставит под сомнение возможности оперативного персонала своевременно отреагировать на ситуацию и принять правильное решения. В связи с этим, меры по предотвращению и ликвидация аварийного режима в современных сетях возлагаются на автоматические микропроцессорные устройства.

1.2 Автоматы частотной разгрузки

В тех случаях, когда в системе отсутствуют возможности включения резервов, либо это занимает слишком большой промежуток времени, единственно возможным способом восстановления частоты в сети является уменьшение потребления активной мощности. Оно достигается отключением наименее ответственных потребителей, для чего применяются специальное оборудование - автоматы частотной разгрузки (АЧР).

Процессы колебания частоты в сетях электроснабжения вызваны сложными процессами, связанными с изменяющимися параметрами отдельных элементов системы. Основную роль в этом играет снижение мощности, выдаваемой в сеть генераторами и изменение потребления нагрузки, в первую очередь электродвигателей.

Относительное снижение частоты в энергосистеме определяется двумя факторами: величиной дефицита мощности в данный конкретный момент времени и характером подключенных нагрузок. При наличии в энергосистеме существенной доле потребителей с существенным реактивным сопротивлением, относительное снижение частоты уменьшается. Этот эффект возникает из-за зависимости энергопотребления от соотношения активного и реактивного сопротивления, поскольку величина требуемой мощности для энергопотребителей с существенным реактивным сопротивлением падает с

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 9 |

уменьшением частоты в питающей сети. Это оказывает стабилизирующий эффект, снижая провалы частоты в случае недостатка активной мощности в сети.

Регулирующий эффект нагрузки – уменьшение мощности, потребляемой нагрузкой при снижении частоты, характеризуется коэффициентом регулирующего эффекта, равным отношению:

$$K_H = \frac{\Delta P\%}{\Delta f\%}. \quad (1.1)$$

Данный коэффициент показывает процентное соотношение падения потребляемой нагрузкой мощности, на каждый процент снижения частоты. Его значение определяется специальными испытаниями и принимается в расчетах равным 1...3.

В последнем выражении, отклонение частоты в процентах определяется как:

$$\Delta f\% = \frac{\Delta f}{50} 100 = 2\Delta f, \quad (1.2)$$

где Δf – отклонение частоты в Гц.

Используя последнее выражение, коэффициент регулирующего эффекта может быть представлен:

$$K_H = \frac{\Delta P\%}{2\Delta f}, \quad (1.3)$$

откуда:

$$\Delta f = \frac{\Delta P\%}{2K_H} \quad (1.4)$$

Таким образом, определив коэффициент K_H можно вычислить величину падения частоты при заданном дефиците активной мощности ΔP , выраженном в процентах к полной нагрузке, а так же установившееся значение частоты:

$$f_{AB} = 50 - \Delta f \text{ или } f_{AB} = 50 - \frac{\Delta P\%}{2K_H}. \quad (1.5)$$

Если до возникновения дефицита энергосистема работала с частотой f_c , отличной от 50 Гц, последнее выражение будет иметь следующий вид:

$$f_{AB} = f_c - \frac{\Delta P\%}{2K_H}. \quad (1.6)$$

Целесообразность установки устройств АЧР рассчитывается отдельно для каждой системы. В первую очередь во внимание принимаются вероятность возникновения серьезного дефицита мощности и возможность его компенсации при помощи имеющихся генераторных мощностей. Основным критерием выбора потребителей, на линии которых будет располагаться АЧР, является их совокупное энергопотребление, которое не должно быть ниже возможного дефицита мощности, а так же их класс. Отключение энергопотребителей первой категории категорически недопустимо. Отключение потребителей второй категории допустимо лишь в случае чрезвычайного дефицита мощности и лишь на период запуска дополнительных генерирующих мощностей. Настройки АЧР выбираются таким образом, что-бы не допустить снижения частоты ниже 45 Гц при любом возможном сценарии. Время работы с пониженной частотой так-же регулируется стандартами, наличие в энергосистеме частоты ниже 47 Гц допускается на протяжении до 20 с, с частотой ниже 48,5 Гц - 60 с.

При проектировании АЧР должны учитываться возможные варианты аварийных ситуаций, такие как отключение питающих мощностей, разделение энергосистемы на обособленные части, вследствие аварий на линиях электропередачи, а так же колебания суточной и сезонной нагрузки. Для обеспечения соответствия мощности отключаемых потребителей возникшему в сети дефициту мощности, АЧР, как правило, выполняется многоступенчатыми, в несколько очередей, отличающихся уставками по частоте срабатывания.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| | | | | | | 11 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

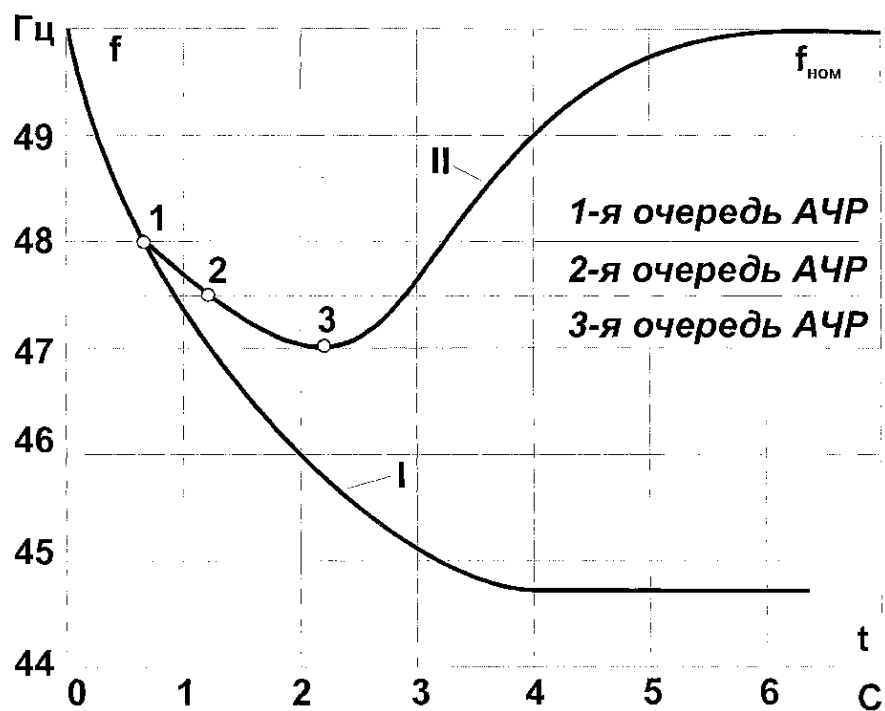


Рисунок 1.1 – Процесс изменения частоты в энергосистеме, при дефиците мощности:

Кривая 1 – АЧР отсутствует; Кривая 2 – АЧР установлена

На рисунке 1.1 изображены графики изменения частоты в энергосистеме в случае возникновения непредвиденного дефицита активной мощности. В случае отсутствия устройств автоматической частотной разгрузки в системе, частота просядет до некоего значения, по достижении которого появившийся недостаток активной мощности будет скомпенсирован за счет падения энергопотребления потребителей (кривая I). В этом случае, для повышения частоты обратно до 50 Гц потребуются отключить часть потребителей таким образом, чтобы их суммарное потребление при стандартной частоте равнялось дефициту активной мощности. Подобное развитие событий неприемлемо, поскольку подразумевает длительное падение частоты в сети, что может вызвать расстройство производственных цепочек и экономические потери.

В случае наличия в системе установленной АЧР, процесс будет протекать в соответствии с кривой II. В данном конкретном случае, АЧР имеет три очереди с уставками срабатывания 48; 47,5 и 47 Гц. В случае возникновения в системе дефицита мощности и снижения частоты до 47 Гц (точка 1), сработает АЧР

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

первой очереди. Ее задача – отключение части потребителей для предотвращения дальнейшего падения частоты. В данном случае (представленном на рисунке 1.1), величины отключенной мощности не хватило для полной компенсации дефицита активной мощности, но работа АЧР снизила скорость падения частоты.

При частоте 47,5 Гц (точка 2) сработают АЧР второй очереди. Они также отключат часть потребителей, еще больше уменьшив дефицит активной мощности и скорость снижения частоты. При частоте 47 Гц (точка 3) сработают АЧР третьей очереди. Снижение энергопотребления за счет отключенных ей потребителей достаточно велико для устранения дефицита мощности, что позволяет восстановить частоту до заданного значения.

Устройства АЧР, используемые для ликвидации аварийного дефицита активной мощности в энергосистемах, подразделяются на три основные категории:

Первая категория – устройства «быстрого реагирования». К ним относятся АЧР, рассчитанные на малое время срабатывания ($t = 0,1 \dots 0,3$ с) и срабатывающие при малом снижении частоты (от 48 до 49,5 Гц). Назначение АЧР этой категории – не допустить глубокого провала частоты сразу же после начала развития аварии. Уставки срабатывания отдельных очередей АЧР1 отличаются одна от другой на 0,1 Гц.

Требуемая мощность потребителей, отключаемых от сети при срабатывании устройств АЧР1 определяется по формуле:

$$P_{\text{АЧР1}} \geq \Delta P_{\Gamma} + 0,05 - \Delta P_{\text{РЕЗ}} \quad (1.8)$$

где ΔP_{Γ} - дефицит генерирующей мощности; $\Delta P_{\text{РЕЗ}}$ - учитываемая часть резерва мощности; 0,05 - нормативный запас.

В качестве $\Delta P_{\text{рез}}$ учитывается только гарантированный вращающийся резерв тепловых электростанций, обеспеченный по паропроизводительности котлов. Все величины в последней формуле указаны в относительных единицах, причем

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| | | | | | | 13 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

за базисную мощность принята потребляемая мощность энергосистемы (района) в исходном режиме до возникновения дефицита мощности. Мощность, подключаемая к АЧР1, должна быть равномерно распределена между очередями.

Вторая категория АЧР используется для восстановления частоты до требуемого значения в случае продолжения ее падения после срабатывания АЧР первой категории. АЧР2 рассчитана на срабатывание после отключения от сети потребителей, подключенных к АЧР1, ее уставка устанавливается на уровне 47,5...48,5 Гц.

Для всех АЧР2 принимаются равные значения уставок, не выше 49 Гц. Разница времен срабатывания различных очередей АЧР2 различаются на 3 секунды и принимаются равными 5...30 секунд. Это требуется для недопущения отключения значительного количества потребителей в случае наличия в энергосистеме резервов активной мощности, большая задержка срабатывания дает время нагрузить агрегаты электростанций до максимальных значений, либо запустить резервные. При этом наибольшие выдержки времени (70...90 с) следует принимать в условиях возможной мобилизации мощности гидроагрегатов ГЭС. Объем нагрузки, подключаемый к АЧР2, зависит от способа осуществления этого вида автоматики, который может быть отдельным, либо совмещенным с АЧР1. В первом случае АЧР1 и АЧР2 отключают от сети разных энергопотребителей. При совмещенном выполнении обе категории дублируют друг друга и отключают общих потребителей.

При отдельном выполнении АЧР1 и АЧР2 суммарная мощность потребителей, подключенных к АЧР2, должна удовлетворять следующему условию:

$$P_{\text{АЧР2}} \geq 0,4P_{\text{АЧР1}}. \quad (1.9)$$

При совмещении действия АЧР1 и АЧР2 мощность потребителей, подключенных только к устройствам АЧР2, должна составлять:

$$P_{\text{АЧР2}} \geq 0,1. \quad (1.10)$$

В результате суммарная мощность потребителей, подключенных к устройствам АЧР, составляет:

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 14 |

- при раздельном действии АЧР1 и АЧР2:

$$\begin{aligned} \sum P_{\text{АЧР}} &= P_{\text{АЧР1}} + P_{\text{АЧР2}} = (\Delta P_{\Gamma} + 0,05) + 0,4(\Delta P_{\Gamma} + 0,05) & (1.11) \\ &= 1,4\Delta P_{\Gamma} + 0,07; \end{aligned}$$

- при совмещенном действии АЧР1 и АЧР2:

$$\sum P_{\text{АЧР}} = P_{\text{АЧР1}} + P_{\text{АЧР2}} = (\Delta P_{\Gamma} + 0,05) + 0,1 = \Delta P_{\Gamma} + 0,15. \quad (1.12)$$

При определенных выше параметрах настройки реле АЧР и объемах разгрузки, автоматика предотвращает падение частоты ниже 46 Гц и обеспечивает восстановление заданной частоты в энергосистеме в течении 1 – 1,5. При разнице в задании уставок 0,1 Гц, допускается неселективная работа смежных очередей АЧР.

Помимо вышеупомянутых, эксплуатируются и устройства АЧР третьей категории. Они применяются в тех случаях, когда отключение потребителей при помощи АЧР1 и 2 недостаточно для восстановления требуемого значения частоты во всей сети, либо на каком-то отдельном участке.

Эффективное функционирование АЧР различных категорий требует синхронизации с другими видами автоматики. Например, отключенные срабатыванием АЧР потребители мощности не должны вновь включаться в сеть устройствами автоматического повторного включения (АПВ) и автоматического ввода резервов (АВР). Для этих целей, управляющие цепи и трансформаторы АВР и АПВ обесточиваются АЧР, вместе с основной питающей линией и трансформаторами.

1.3 Ложные срабатывания АЧР

В некоторых случаях в системе может наблюдаться снижение частоты, не связанное с дефицитом активной мощности. При временном отключении потребителей устройствами АПВ или АВР, на шинах подстанций может сохраняться остаточное напряжение за счет инерции вращающихся частей

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 15 |

мощных синхронных компенсаторов и синхронных электродвигателей и приводимых ими механизмов. Асинхронные электродвигатели могут поддерживать напряжение на шинах подстанции выше 40-50% от номинального в течение примерно 1 с, а синхронные двигатели и компенсаторы поддерживают напряжение в течение нескольких секунд. Однако частота вращения электродвигателей будет постепенно уменьшаться, за счет чего снизится и частота поддерживаемого напряжения. Включенные на это напряжение АЧР могут сработать на это ложное падение частоты и отключат потребителей до повторного срабатывания АПВ или АВР. Во избежание подобных ситуаций, при срабатывании АПВ или АВР, цепи АЧР блокируются.

В случае появления в системе короткого замыкания, в ней резко возрастают потери мощности, вплоть до серьезного дефицита. Это может вызвать резкое кратковременное снижение частоты до того момента, пока поврежденный участок не будет отключен. В системах небольшой мощности это может вызвать срабатывание АЧР. Активное сопротивление цепи КЗ состоит из сопротивлений элементов энергосистемы: линий, трансформаторов и переходного сопротивления в месте повреждения. Поскольку значение последнего может изменяться в очень больших пределах, будут изменяться и активные потери мощности при КЗ. Если известно значение мощности КЗ, определяемое обычно для выбора силового электрооборудования, максимально возможный наброс активной мощности при КЗ может быть подсчитан по следующему выражению:

$$AP_K = 0,5S_K \quad (1.13)$$

На практике, с возможностью значительного снижения частоты при КЗ следует считаться лишь в энергосистемах сравнительно небольшой мощности (до 500 МВт). Для предотвращения ложных отключений потребителей в рассматриваемом режиме необходимо либо снижать уставку срабатывания реле частоты, либо применять АПВ после АЧР.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| | | | | | | 16 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

2 ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ УСТРОЙСТВ.

2.1 Понятие электромагнитной совместимости

Под электромагнитной совместимостью, согласно документу МЭК подразумевается способность оборудования и собранных на его основе систем корректно работать при существующей на объекте энергетики электромагнитной обстановки без внесения в нее электромагнитных возмущений недопустимой величины. Определение электромагнитной обстановки производится на основании измерений и расчетов, необходимых для получения данных о максимально возможных уровнях электромагнитных помех, воздействующих на микропроцессорную электронику. Природа источников помех может быть как искусственной (помехи от функционирующего оборудования станции, от воздушных и кабельных линий, радиопомехи), так и естественной (удары молнии, изменение солнечной активности и т.д.)

В настоящее время системы автоматики и релейной защиты почти полностью перешли на управление при помощи микропроцессорных устройств, как правило, выполняющих одновременно несколько функций управления. Все это обуславливает повышенное внимание к влиянию внешних воздействий на корректную работу слаботочной электроники и проработке способов защиты от электромагнитных помех.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 17 |

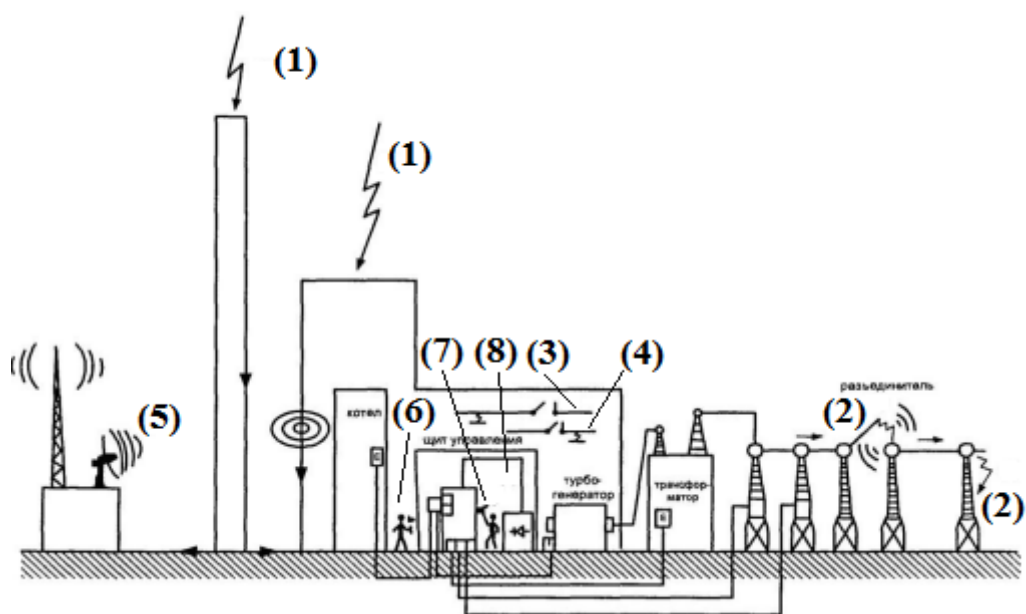


Рисунок 2.1 – Источники электромагнитных воздействий на ЭС:

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.

2.2 Источники электромагнитных помех

Наиболее типичными источниками электромагнитных помех на станциях и подстанциях являются следующие процессы и явления:

- переходные процессы в цепях высокого напряжения при коммутациях силовыми выключателями и разъединителями;
- переходные процессы, возникающие в случае нарушения целостности изоляции высоковольтных линий или срабатывании разрядников;
- попадание молнии в заземляющее устройство;
- переходные процессы, вызываемые коммутацией цепей низковольтного оборудования;
- электростатические разряды;
- помехи, создаваемые радиопередающими устройствами;

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

- низкочастотные возмущения, создаваемые источниками питания.

Так же ЭМП могут создаваться различным вспомогательным оборудованием: в частности электроинструментами, сварочными аппаратами, преобразователями частоты и т. д.

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.

Такая ЭМО типична для диспетчерских помещений электростанций и подстанций.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| | | | | | | 19 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

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.
- 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;
- возможны любая влажность воздуха и наличие электризуемых трением материалов;
- возможно неограниченное использование переносных переговорных устройств;
- возможно наличие мощных радиопередатчиков;
- возможно наличие дуговых технологических устройств (электродов, сварочных машин и т. п.).

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| | | | | | | 20 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

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.

Методика определения электромагнитной обстановки на исследуемом объекте включает в себя проведение измерений и расчетов, необходимых для о о максимально возможном уровне ЭМ помех, проявляющихся при нормативных и аварийных режимах. Методика включает в себя следующие этапы:

1. Получение исходных данных об объекте. На данном этапе изучается проектная документация, определяется реальное состояние цепей объекта, взаимное расположение высоковольтных цепей, проложенных кабелей, объектов молниеотводов и другого оборудования, способного создавать ЭМП. Определяются способы защиты микропроцессорного оборудования;

2. Определение реальной ЭМО на объекте. Для этого могут применяться различные способы:

– Непосредственные измерения. В данном случае на объекте измеряются электромагнитные поля радиочастотного диапазона, помехи, наводимые силовыми цепями, импульсные помехи в слаботочных цепях.

– Имитация наиболее опасных видов излучений. При этом определяется величина помех, вызванных короткими замыканиями, коммутациями в силовых цепях, коэффициенты экранирования кабелей.

– Расчеты используются определения величины ЭМП при чрезвычайных режимах, для выработки рекомендаций по улучшению ЭМО.

3. Сравнение полученных значений с допустимыми уровнями. На основании этого вырабатывается заключение о соответствии или несоответствии реальной и максимально допустимой величины помех для конкретной конфигурации МП оборудования.

4. Выдача практических рекомендаций по улучшению ЭМО.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 21 |

3 МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ

3.1 Методика расчета ЭМО вблизи линии электропередач

Помехи от протекающего электрического тока распространяются двумя способами: в виде излучения, либо по проводящим материалам. Таким образом, задача по нахождению электромагнитной обстановки на исследуемом объекте сводится к нахождению совокупного действия всех электромагнитных полей и определению их возможности по влиянию на безотказность работы микропроцессорного оборудования.

Важную роль в процессе формирования и определения характеристик ЭМО в заданной точке играет способ ее описания. В настоящий момент имеются два основных подхода к аналитическому описанию электромагнитной обстановки: электродинамический и энергетический.

Электродинамический подход является наиболее распространенным и широко применяется на практике для определения влияния силовых линий на микропроцессорную электронику. Он заключается в определении значений напряженностей электрических (E) и магнитных (H) полей в интересующей точке или области от заданных сосредоточенных или распределенных источников ЭМП.

Для расчета напряженности электрического поля используется метод зеркальных проекций. Приведем пример расчета ЭМО для воздушной линии, магнитное поле которой будет создаваться не только зарядами проводов, но и зарядами их зеркальных проекций. При этом вектор напряженности суммарного поля будет равен геометрической сумме векторов напряженностей полей всех зарядов (рисунок 3.1). Напряженность поля будем рассчитывать на высоте около двух метров. Линия для удобства принимается симметричной.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 22 |

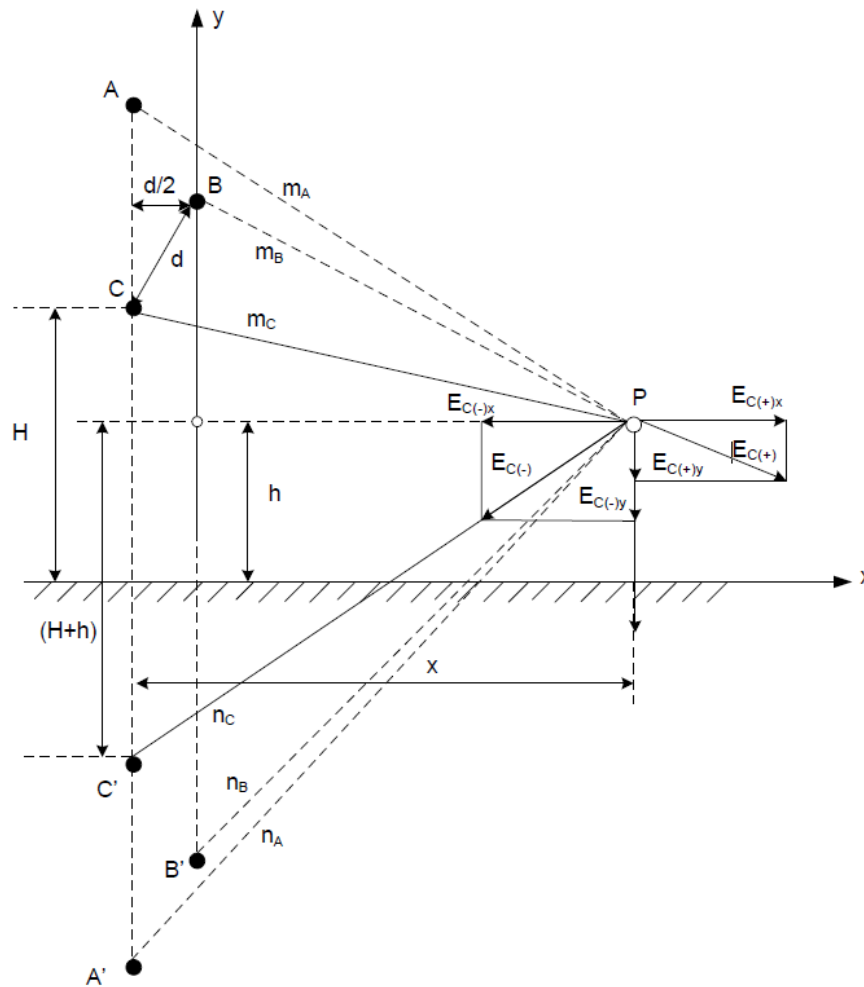


Рисунок 3.1 – Методика расчета напряженности поля вблизи линии электропередач в точке P

Напряженность электрического поля E трехфазной воздушной линии электропередач рассчитывается как:

$$E = \frac{C * U_{\phi}}{4 * \pi * \epsilon_0} * \sqrt{(2 * k_1 - k_3 - k_5)^2 + 3 * (k_3 - k_5)^2 + (2 * k_2 - k_4 - k_6)^2 + 3 * (k_4 - k_6)^2} \quad (3.1)$$

Коэффициенты k имеют следующие значения:

$$k_1 = \frac{x + d}{m_A^2} - \frac{x + d}{n_A^2}; \quad (3.2)$$

$$k_2 = \frac{H - h}{m_A^2} + \frac{H - h}{n_A^2}; \quad (3.3)$$

$$k_3 = \frac{x}{m_B^2} + \frac{x}{n_B^2}; \quad (3.4)$$

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

$$k_4 = \frac{H - h}{m_B^2} + \frac{H + h}{n_B^2}; \quad (3.5)$$

$$k_5 = \frac{x - d}{m_C^2} + \frac{x - d}{n_C^2}; \quad (3.6)$$

$$k_6 = \frac{H - h}{m_C^2} + \frac{H + h}{n_C^2}. \quad (3.7)$$

В данных уравнениях, А,В,С – фазы (провода) линии; А',В',С' - зеркальное отображение фаз; m_a, m_b, m_c – кратчайшие расстояния от точки Р до фаз линии; n_a, n_b, n_c – кратчайшие расстояния от точки Р до зеркальных отображений фаз. Отрезки m и n являются гипотенузами соответствующих треугольников и определяются следующими уравнениями:

$$m_A = \sqrt{(H - h + 12)^2 + x^2}. \quad (3.8)$$

$$n_A = \sqrt{(H + h + 12)^2 + x^2}. \quad (3.9)$$

Расчет напряженности магнитного поля рассмотрим на примере многопроводной линии. Начинать необходимо с выбора условных положительных направлений токов в проводах. Так как токи в проводах и в их зеркальных отображениях в каждый момент времени направлены в противоположные стороны, то условные положительные направления токов удобно выбрать противоположенными. Расчет напряженности магнитного поля в этом случае ничем не отличается от соответствующего расчета при постоянном токе.

На практике удобно представлять поле, созданное сложной системой проводов, суперпозицией полей прямых отрезков проводов конечной длины. Следует отметить, что задача по нахождению напряженности магнитного поля провода конечной длины не имеет четкого физического смысла, так как в квазистационарном случае магнитные поля создаются токами проводимости, протекающими по замкнутым цепям. Поэтому искомый результат можно рассматривать как вклад, вносимый данным отрезком замкнутой цепи в общее магнитное поле. Геометрия задачи представлена на рисунке 3.2.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 24 |

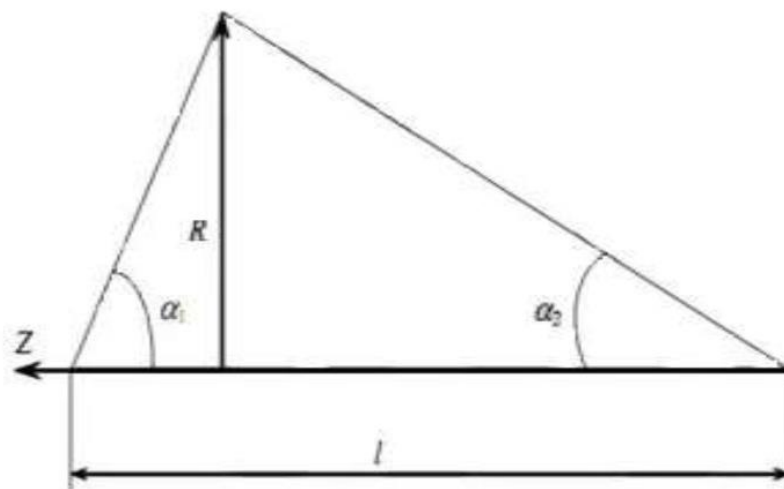


Рисунок 3.2 – Графические построения для вычисления магнитного поля прямого провода конечной длины

Напряженность магнитного поля, создаваемого прямолинейным проводником длиной l , находится из известного закона Био-Савара-Лапласа и определяется выражением:

$$H = \frac{I}{4 * \pi * R} * (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2), \frac{A}{M} \quad (3.10)$$

Задачи по нахождению магнитного поля системы проводов сложной конфигурации в общем случае не имеют осевой симметрии, и их решение удобнее проводить в декартовой системе координат.

Результирующее магнитное поле находится геометрическим суммированием частичных полей:

$$\vec{H} = \sum_{i=1}^N (\vec{H}_i + H_i), I_i = I * e^{j*(i-1)*\Delta}, \quad (3.11)$$

где I_i - ток в i -ом проводе.

При записи данного выражения предполагается, что ЛЭП нагружена сбалансированно, а ток в нулевом проводе отсутствует. Амплитуда тока I может быть определена по сезонному графику загрузки ЛЭП.

Напряженность магнитного поля, создаваемого проводом и напряженность зеркальной проекции провода соответственно равны:

$$H_i = \frac{I * e^{j*(i-1)*\Delta}}{2 * \pi * \sqrt{(x - d_i)^2 + (h_i - z_0)^2}} * \gamma; \quad (3.12)$$

$$H_i^{\cdot} = \frac{I * e^{j*(i-1)*\Delta}}{2 * \pi * \sqrt{(x - d_i)^2 + (h_i + z_0)^2}} * \gamma, \quad (3.13)$$

где:

$$\gamma = \frac{\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2}{2}, \quad (3.14)$$

коэффициент, учитывающий конечность длины проводника.

Модуль вектора напряженности магнитного поля, стоящего под знаком суммы, определяется выражением следующего вида:

$$|\vec{H}_i + \vec{H}_i^{\cdot}| = \frac{I * e^{j*(i-1)*\Delta}}{2 * \pi} * \sqrt{\frac{1}{R_i^2} + \frac{1}{(R_i^{\cdot})^2} + \frac{2}{R_i * R_i^{\cdot}} * \cos \varphi}. \quad (3.15)$$

Геометрическое суммирование осуществляется, исходя из особенностей конфигурации и взаимного расположения проводов, соответствующих типу конкретной опоры ЛЭП.

Энергетический подход применяется для определения мощности, которая может выделиться в рецепторе электромагнитной энергии. При этом необходимо определить соотношение между электрической и электромагнитной составляющими помехи. Оценку соотношения между электрической и электромагнитной составляющими помехи производим с помощью модели из двух прямоугольных контуров, расположенных в одной плоскости, один из которых является активным (А), а другой пассивным (Б). Данная модель наиболее адекватно описывает взаимодействие источника и рецептора электромагнитных возмущений в реальных условиях.

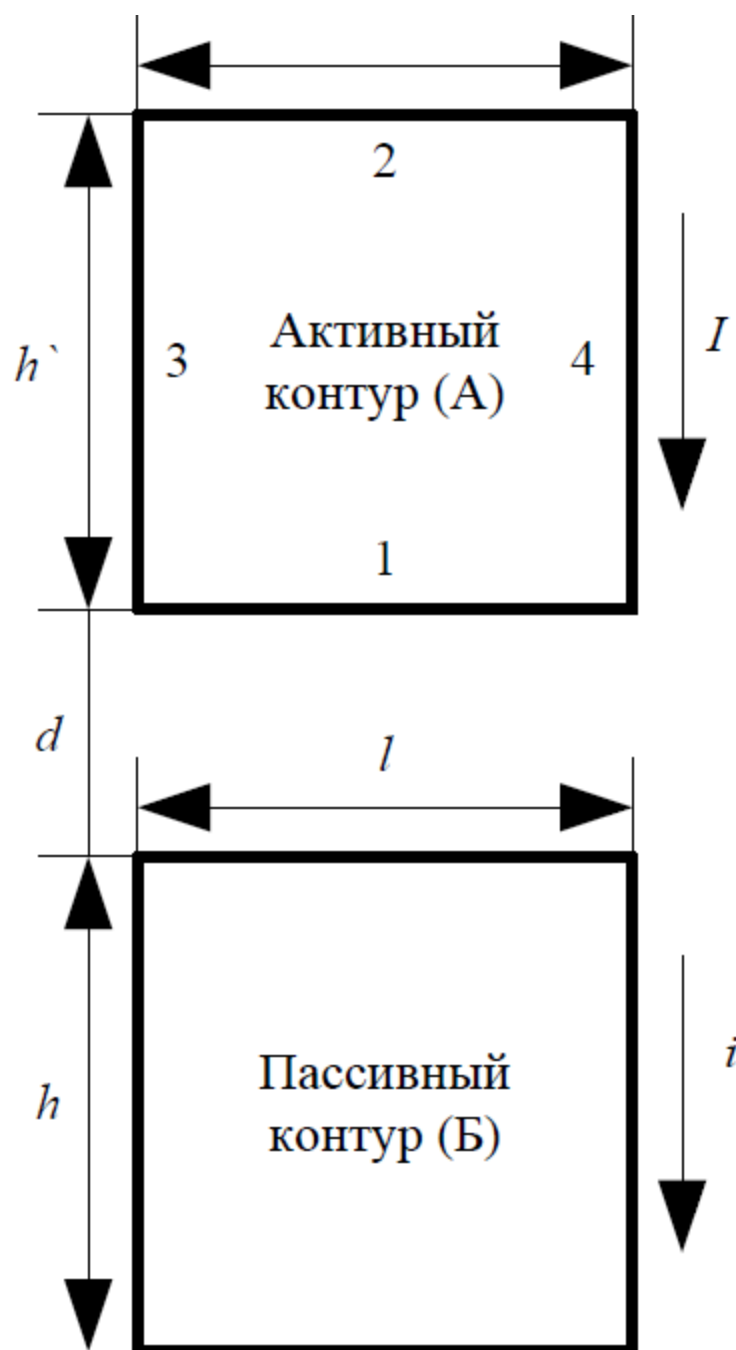


Рисунок 3.3 – Модель для оценки соотношения между продольной электрической и электромагнитной составляющими помехи

Определим мощность электрической наводки, которая выделяется на стороне контура Б, ближайшей к контуру А, при прохождении по ней тока $i(x)$, учитывая, что на отрезке провода dx выделяется мощность:

$$dS_3 = i^2(x) * \frac{z_k}{4 * l} dx = \frac{U^2 * \omega^2 * C^2}{4 * l^4} * (l^2 * x^2 - 2 * l * x^3 + x^4) * \frac{z_k}{4 * l} dx, \quad (3.16)$$

где z_k – полное сопротивление контура Б

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

Искомая мощность:

$$S_3 = \frac{(U * \omega * C)^2 * z_k}{16 * l^5} * \int_0^1 (l^2 * x^2 - 2 * l * x^3 + x^4) dx = \frac{(U * \omega * C)^2 * z_k}{480}. \quad (3.17)$$

Определение электромагнитной составляющей наводки в контуре Б производится по формулам:

- для тока

$$i = \frac{\xi}{z_k}; \quad (3.18)$$

- для мощности

$$S_{эм} = \frac{\xi^2}{4 * z_k}. \quad (3.19)$$

Здесь $\xi = 4,44 * f * \Phi_m$ – э.д.с., наведенная в контуре Б, где Φ_m – результирующее значение магнитного потока, проходящего через контур Б, который рассчитывается как $\Phi_m = \Phi_{m1} + \Phi_{m2} + \Phi_{m3} + \Phi_{m4}$ (слагаемые представляют собой магнитные потоки, наведенные в контуре Б от тока, проходящего, соответственно, по сторонам 1-4 контура А);

$$z_k = \sqrt{r_k^2 + x_k^2}, \quad (3.20)$$

Где z_k – полное сопротивление контура Б; r_k , x_k – активное и индуктивное сопротивление контура соответственно.

Для определения значений слагаемых магнитного потока Φ_m были использованы следующие математические выражения:

$$\Phi_{m1} = \frac{\mu_0 * I_M}{2 * \pi} * \left(\sqrt{(d+h)^2 + l^2} - \sqrt{d^2 + h^2} + l * \ln \frac{(l + \sqrt{d^2 + h^2}) * (d+h)}{d * (l + \sqrt{(d+h)^2 + l^2}} \right) \quad (3.21)$$

$$\Phi_{m2} = \frac{\mu_0 * I_M}{2 * \pi} * \left(\sqrt{(D+h)^2 + l^2} - \sqrt{D^2 + h^2} + l * \ln \frac{(l + \sqrt{D^2 + h^2}) * (D+h)}{D * (l + \sqrt{(D+h)^2 + l^2}} \right) \quad (3.22)$$

$$\begin{aligned}
\Phi_{M3} = \Phi_{M4} = & -\frac{\mu_0 * I_M}{2 * \pi} \\
& * \left[(d + h) * \ln\left(\frac{d + h}{l} + \sqrt{\left(\frac{d + h}{l}\right)^2 + 1}\right) - d \right. \\
& * \ln\left(\frac{d}{l} + \sqrt{\left(\frac{d}{l}\right)^2 + 1}\right) + l * \sqrt{\left(\frac{d}{l}\right)^2 + 1} - (d + h + h') \\
& * \ln\left(\frac{d + h + h'}{l} + \sqrt{\left(\frac{d + h + h'}{l}\right)^2 + 1}\right) + l * \sqrt{\left(\frac{d + h + h'}{l}\right)^2 + 1} \quad (3.23) \\
& + (d + h') * \ln\left(\frac{d + h'}{l} + \sqrt{\left(\frac{d + h'}{l}\right)^2 + 1}\right) - l * \sqrt{\left(\frac{d + h'}{l}\right)^2 + 1} \\
& - h' * \ln\frac{h'}{d + h} + h' * \left(\frac{d + h}{h'} + 1\right) * \ln\left(1 + \frac{h'}{d + h}\right) + h' * \ln\frac{h'}{d} \\
& \left. - h' * \left(\frac{d}{h'} + 1\right) * \ln\left(1 + \frac{h'}{d}\right) \right],
\end{aligned}$$

где $D = d+h'$; I_M - амплитудное значение синусоидального тока, проходящего в контуре А.

Таким образом, анализируя частоты различных источников регулярных и нерегулярных помех на электрических станциях и подстанциях, можно прийти к заключению, что все они лежат в диапазоне 50 Гц - 1 МГц.

Результаты расчета отношений мощностей электромагнитной и электрической составляющих наводки в зависимости от расстояния между контурами (d) и частоты циркулирующих в них токов показаны на графиках (рисунок 3.4). При составлении указанных графиков были приняты следующие исходные данные: действующее значение тока в контуре А равно 1 А, провод контура медный, круглого сечения, площадь сечения 2,5 мм², длина стороны контура 0,25 м.

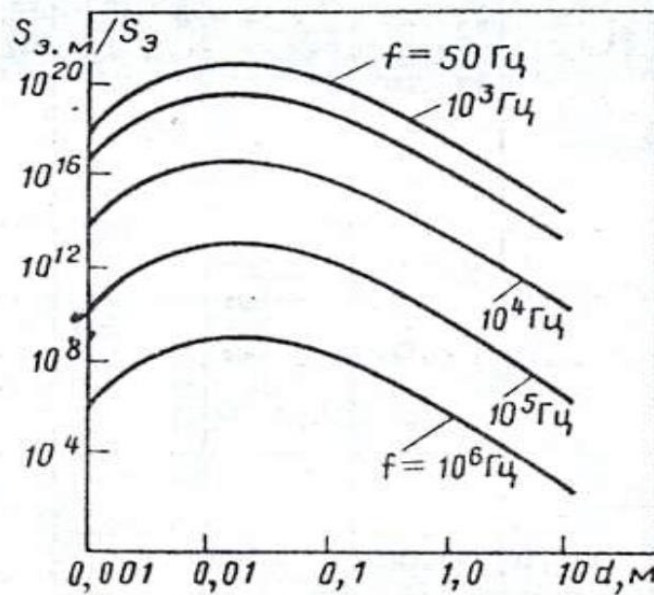


Рисунок 3.4 – Отношения мощностей электромагнитной составляющей к продольной электрической составляющей наводки

Необходимость использования представленных расчетных методов в ходе работ по определению и оптимизации ЭМО, а так же соблюдения ЭМС МП устройств и силовой электроники заключается в возможности установления соотношения между уровнями продольной и электромагнитными составляющими помех.

Из приведенного анализа следует, что при расстояниях между источниками помех и объектами их воздействия до 10м и диапазоне частот от 50 Гц до 1 МГц продольная электрическая составляющая электромагнитной помехи на 2 порядка меньше электромагнитной, из чего следует, что при расчете ЭМС реальных объектов ее влиянием можно пренебречь.

3.2 Методика определения электромагнитной совместимости при ударах молнии

Возникновение помех в контрольных кабелях при ударе молнии связано с неравномерностью распределения потенциала заземлителя. Резкий импульс тока, характерный для молнии приводит к возникновению существенной разницы

потенциалов между заземляющим устройством и точкой измерения помех (в данном случае измерительным оборудованием).

Расчет величины возникших помех имеет смысл производить только для первого импульса тока молнии. Это связано с тем, что амплитуда последующих импульсов резко падает.

Для расчета величины помех при ударе молнии применяется следующая формула:

$$U_k = Z_t l * I; \quad (3.24)$$

где:

$$Z_t = R_0 \frac{(1 + j)d/\delta}{sh(1 + j)d/\delta}; \quad (3.25)$$

где I – ток, протекающий через экран контрольного кабеля, Z – сопротивление кабеля, R – сопротивление экрана, d – толщина экрана, δ – толщина скин-слоя, L – длина кабеля

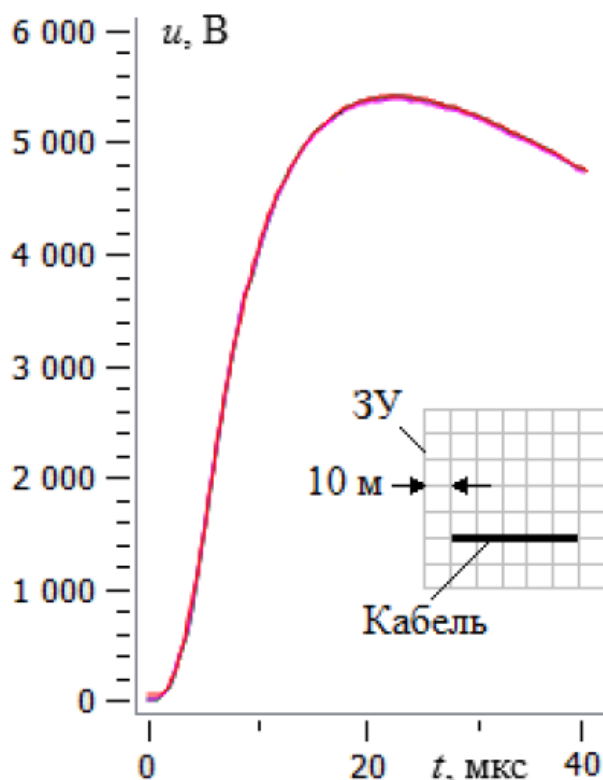


Рисунок 3.5 – График отношения напряжения помех в контрольном кабеле от времени

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

3.3 Влияние ЭМ полей радиочастотного диапазона на ЭМС

Для измерения помех в радиочастотном диапазоне от 1 до 1000 МГц обычно используют перестраиваемые селективные высокочастотные вольтметры с соответствующим набором антенн.

Для сигналов вертикальной поляризации в диапазоне 26-300 МГц возможно использование биконических антенн с круговой диаграммой направленности и входным сопротивлением 50 Ом. Для сигналов с горизонтальной поляризацией используют дипольные антенны с входным сопротивлением 50 Ом. Существенным для правильных измерений является хорошее согласование антенно-фидерного тракта с вольтметром во всем диапазоне измеряемых частот. Значение коэффициента стоячей волны напряжения не должно превышать 3. Для измерения сигналов в диапазоне частот 300-1000 МГц возможно использование калиброванной измерительной антенны, рупорной измерительной антенны П-6-33 с входным сопротивлением 50 Ом.

Для сигналов с горизонтальной поляризацией используют также калиброванную широкополосную антенну в виде конического диполя ДП-3, входящую в измерительный комплекс FSM-8,5. Указанные антенны предназначены для измерения напряженности электрического компонента электромагнитного поля. Магнитный компонент поля определяют пересчетом по формуле $H, \text{ дБ (мкА/м)} = E, \text{ дБ (мкВ/м)} - 52$.

Возможность быстрого графического представления частотного спектра помех дает применение спектроанализаторов для измерений радиочастотных сигналов. Простейшим прибором этого класса является переносной спектроанализатор Protek-3200. Измеряют в режиме мониторинга напряженность электромагнитного поля от внешних источников. С его помощью измеряют следующие величины:

– Измеряют в режиме мониторинга напряженность электромагнитного поля от внешних источников;

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 32 |

– Напряженность электромагнитного поля от работающих переносных и стационарных радиопередающих станций, которые используются персоналом энергообъекта;

– Зависимость напряженности поля от расстояния до источника электромагнитного излучения и ослабление напряженности поля искусственными преградами (стены, экраны, корпуса шкафов и т. д.).

Снижение уровней электромагнитных полей радиочастотного диапазона от внешних источников и стационарных станций достигается за счет экранирования зданий или применения экранов в местах установки аппаратуры.

В том случае, когда уровень наводимых переносными радиопередающими станциями электромагнитных помех превышает допустимые для установленной МП аппаратуры значения, проводятся организационные мероприятия, исключающие использование таких станций в местах установки устройств АСТУ. Для снижения уровня воздействия магнитного поля промышленной частоты изменяют место размещения устройств или перемещают источник магнитного поля на большее расстояние от устройств.

3.4 Краткая характеристика объекта

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 «АВВ». Блочный повышающий трансформатор типа ТНЦ-630000/220 УХЛ1 производства ОАО «Запорожский трансформаторный завод». Связь генераторов с повышающим трансформатором осуществляется с помощью

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 33 |

закрытых экранированных токопроводов с естественным охлаждением. С блоком ПГУ-400 предусматривается установка рабочего трансформатора собственных нужд с расщепленной обмоткой типа ТРДНС-32000/35 УХЛ1, подключаемого отпайкой от токопровода генератор-трансформатор между генераторным выключателем и блочным трансформатором.

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

Сооружаемое ОРУ-220 кВ будет выполнено по «полупорной 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.

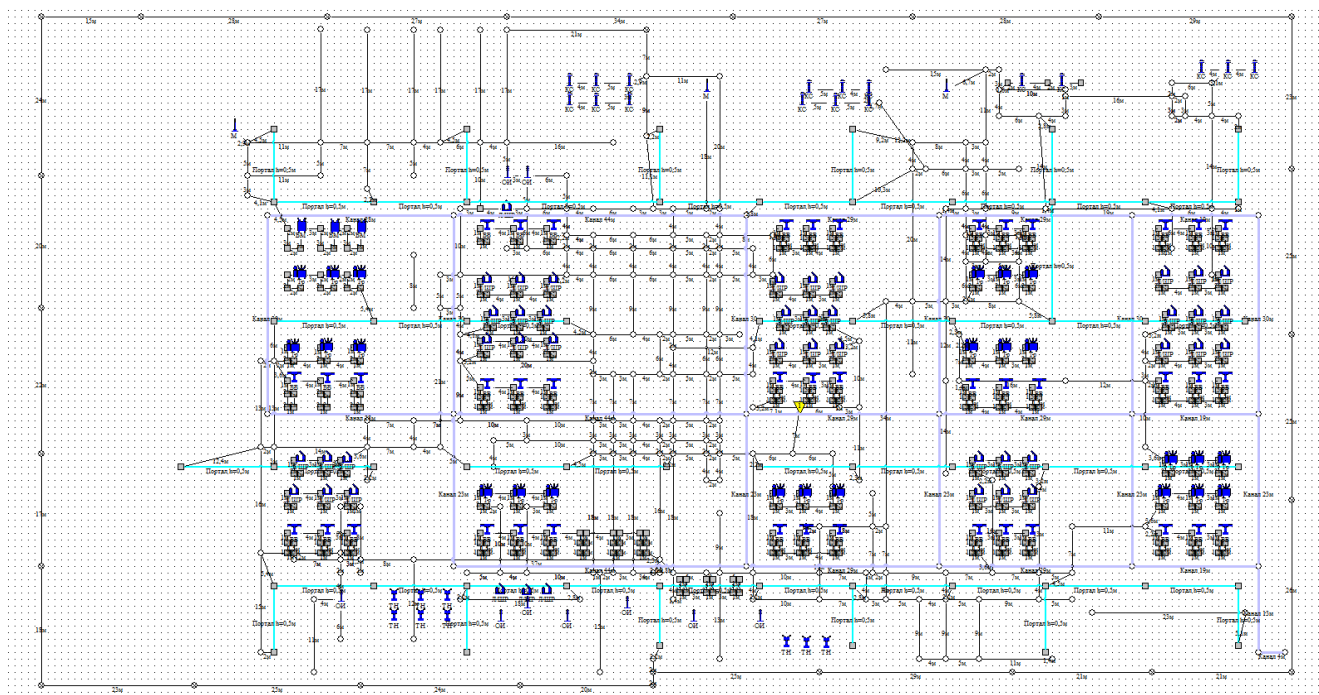


Рисунок 3.6 – Расчетная схема ЗУ ОРУ 220 кВ в программе ОРУ-Проект

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

ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР

Лист

34

На ОРУ-220 кВ установлены однофазные колонковые элегазовые выключатели типа ЗАР2FI-550, трансформаторы тока типа IOSK 550, емкостные трансформаторы напряжения типа ТЕМР 550, разъединители типа D BF6-550+2AE BF2 и D BF6-550+AE BF2, заземлитель типа ЗППА-500.11/3150 УХЛ1, конденсаторы связи, ограничители перенапряжений типа ЗЕР2 399-3PH43-2NE1.

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.

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.

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

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 35 |

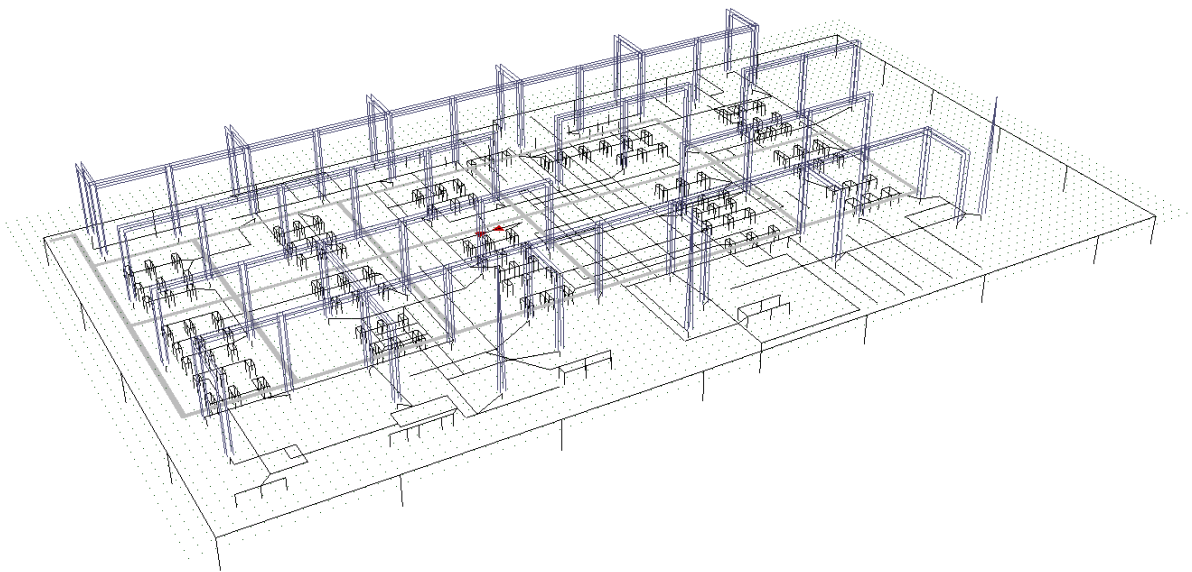


Рисунок 3.7 – Трехмерный вид расчетной схемы ЗУ ОРУ 220 кВ в программе ОРУ-Проект

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.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 36 |

4 РАСЧЕТ УРОВНЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЙ НАВЕДЕННЫХ ПОМЕХ

4.1 Расчет полевых помех при КЗ

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.3 и А. 4 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.

Результаты расчета полевых помех при КЗ приведены в таблице 4.1:

Таблица 4.1 – 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 | Соответст вие допустимо му |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------|---|--|-------------------------------------|
| КЗ на ОРУ-220 кВ | | | | | |
| ВЧ связь | КС ВЛ Троицкая ГРЭС | 6,7 | 0,29 | 2,5 | Соотв. |
| ВЧ связь | КС ВЛ Шагол | 6,0 | 0,13 | 2,5 | Соотв. |
| ТН | 1-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС | 4,0 | 0,14 | 2,5 | Соотв. |
| ТН | 1-ТН ВЛ Шагол | 4,7 | 0,08 | 2,5 | Соотв. |
| ТН | 2-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС | 4,4 | 0,15 | 2,5 | Соотв. |
| ТН | 2-ТН ВЛ Шагол | 6,6 | 0,17 | 2,5 | Соотв. |
| ТН | ТН 1 СШ | 5,6 | 0,1 | 2,5 | Соотв. |

Продолжение таблицы 4.1

| Кабель (вид цепей) | Место КЗ | ВЧ ток в месте КЗ, кА | Напряжение на входе МП устройства, кВ | Допустимое напряжение на входе МП устройств, кВ | Соответс твие допусти мому |
|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------|---|--|-------------------------------------|
| ТН | ТН 2СШ | 4,4 | 0,08 | 2,5 | Соотв. |
| ТН | ТН АТ | 3,1 | 0,07 | 2,5 | Соотв. |
| Управление | 1-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС | 4,1 | 0,1 | 2,5 | Соотв. |
| Управление | 1-ЭВ-1 ВЛ Шагол | 6,5 | 0,05 | 2,5 | Соотв. |
| Управление | 1-ЭВ-1 ШР 220 | 3,3 | 0,05 | 2,5 | Соотв. |
| Управление | 1-ЭВ-2 ВЛ Троицкая ГРЭС | 4,6 | 0,08 | 2,5 | Соотв. |
| Управление | 2-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС | 3,9 | 0,06 | 2,5 | Соотв. |
| Управление | 2-ЭВ-1 ВЛ Шагол | 4,8 | 0,02 | 2,5 | Соотв. |
| ТТ | ТТ 1-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС | 4,0 | 0,03 | 2,5 | Соотв. |
| ТТ | ТТ 1-ЭВ-1 ВЛ Шагол | 3,3 | 0,04 | 2,5 | Соотв. |
| ТТ | ТТ 1-ЭВ-1 ШР 220 | 2,1 | 0,06 | 2,5 | Соотв. |
| ТТ | ТТ 1-ЭВ-2 ВЛ Троицкая ГРЭС | 4,4 | 0,03 | 2,5 | Соотв. |
| ТТ | ТТ 2-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС | 3,3 | 0,11 | 2,5 | Соотв. |
| ТТ | ТТ 2-ЭВ-1 ВЛ Шагол | 6,6 | 0,14 | 2,5 | Соотв. |
| Защита | ШР 220 | 5,8 | 0,07 | 2,5 | Соотв. |

Результаты расчета полевых помех при коммутациях разъединителями и выключателями на ОРУ-220 кВ приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - 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 | Соответствие допустимому |
|--------------------------|-------------------------------------|------------------------------|---|---|--------------------------|
| Коммутации на ОРУ-220 кВ | | | | | |
| ТН | ТН 1 СШ - БВС | Вкл. Р-1-ТН-СШ | 0,03 | 2,5 | Соотв. |
| ТН | ТН 2 СШ - БВС | Вкл. Р-2-ТН-СШ | 0,06 | 2,5 | Соотв. |
| ТН | ТН АТ - БВС | Вкл. Р-ТН-АТ | 0,08 | 2,5 | Соотв. |
| ТН | ТН АТ - БВС | Вкл. Р-ТН-АТ | 0,08 | 2,5 | Соотв. |
| ТН | 1-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС - БВС | Вкл. Р-1-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС | 0,05 | 2,5 | Соотв. |
| ТН | 2-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС - БВС | Вкл. Р-2-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС | 0,05 | 2,5 | Соотв. |
| ТН | 1-ТН ВЛ Шагол - БВС | Вкл. Р-1-ТН ВЛ Шагол | 0,04 | 2,5 | Соотв. |
| ТН | 2-ТН ВЛ Шагол - БВС | Вкл. Р-2-ТН ВЛ Шагол | 0,04 | 2,5 | Соотв. |
| Управление | 1-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС - БВС | Вкл. 1-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС | 0,04 | 2,5 | Соотв. |
| ТТ | ТТ 1-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС - БВС | Вкл. 1-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС | 0,03 | 2,5 | Соотв. |
| Управление | 1-ЭВ-1 ВЛ Шагол- БВС | Вкл. 1-ЭВ-1 ВЛ Шагол | 0,03 | 2,5 | Соотв. |
| ТТ | ТТ 1-ЭВ-1 ВЛ Шагол - БВС | Вкл. 1-ЭВ-1 ВЛ Шагол | 0,03 | 2,5 | Соотв. |
| Управление | 1-ЭВ-2 ВЛ Троицкая ГРЭС - БВС | Вкл. 1-ЭВ-2 ВЛ Троицкая ГРЭС | 0,05 | 2,5 | Соотв. |
| ТТ | ТТ 1-ЭВ-2 ВЛ Троицкая ГРЭС - БВС | Вкл. 1-ЭВ-2 ВЛ Троицкая ГРЭС | 0,04 | 2,5 | Соотв. |
| Управление | 2-ЭВ-1 ВЛ Шагол - БВС | Вкл. 2-ЭВ-1 ВЛ Шагол | 0,06 | 2,5 | Соотв. |
| ТТ | ТТ 2-ЭВ-1 ВЛ Шагол - БВС | Вкл. 2-ЭВ-1 ВЛ Шагол | 0,05 | 2,5 | Соотв. |

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

ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР

Лист

39

Продолжение таблицы 4.2

| Кабель (вид цепей) | Трасса прокладки кабеля | Вид коммутации | Наибольшее напряжение на устройстве, кВ | Допустимое напряжение на входе МП устройств, кВ | Соответствие допустимому |
|--------------------|--|------------------------------------|---|---|--------------------------|
| Управление | 2-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС - БВС | Вкл. 2-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС | 0,06 | 2,5 | Соотв. |
| ТТ | ТТ 2-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС - БВС | Вкл. 2-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС | 0,05 | 2,5 | Соотв. |

Из таблиц видно, что импульсные помехи на входах МП устройств, установленных в РЩ ОРУ-220 кВ, при КЗ и коммутациях на ОРУ-220 кВ не превысят 0,29 кВ и 0,087 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 6,7 кА для КС ВЛ Троицкая ГРЭС.

4.2 Расчет помех, возникающих при КЗ

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.1, А.2 приложения А. Удельное сопротивление грунта - $\rho_1 = 20 \text{ Ом*м}$, $\rho_2 = 18 \text{ Ом*м}$, 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.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 40 |

Результаты расчетов помех, возникающих при КЗ из-за подъема потенциала на ЗУ в ячейках ВЛ ОРУ-220 кВ, приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Результаты расчета 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 | Соответс- твие допустим ому |
|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--|---------------------------------------|--|--|--------------------------------------|
| ОРУ-220 кВ | | | | | | | |
| ВЧ связь | КС ВЛ Троицкая ГРЭС | 6,7 | 3,9 | 6 | 5 | 2,5 | Выше нормы |
| ВЧ связь | КС ВЛ Шагол | 6,6 | 4,1 | 6 | 4,9 | 2,5 | Выше нормы |
| ТН | 1-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС | 4,5 | 3,8 | 10 | 2,1 | 2,5 | Соотв. |
| ТН | 1-ТН ВЛ Шагол | 4,7 | 3,4 | 10 | 2,2 | 2,5 | Соотв. |
| ТН | 2-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС | 4,4 | 3,5 | 10 | 2,1 | 2,5 | Соотв. |
| ТН | 2-ТН ВЛ Шагол | 4,4 | 3,7 | 10 | 1,9 | 2,5 | Соотв. |
| ТН | ТН 1 СШ | 3,4 | 3,8 | 10 | 1,7 | 2,5 | Соотв. |
| ТН | ТН 2 СШ | 3,2 | 4,1 | 10 | 1,5 | 2,5 | Соотв. |
| ТН | ТНАТ | 2,2 | 4,2 | 10 | 1,2 | 2,5 | Соотв. |
| Управлен ие | 1-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС | 4,1 | 3,5 | 20 | 1 | 2,5 | Соотв. |
| Управлен ие | 1-ЭВ-1 ВЛ Шагол | 6,7 | 3,4 | 20 | 1,1 | 2,5 | Соотв. |
| Управлен ие | 1-ЭВ-1 ШР 220 | 3,1 | 3,3 | 20 | 0,8 | 2,5 | Соотв. |
| Управлен ие | 1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС | 4,6 | 3,6 | 20 | 1,1 | 2,5 | Соотв. |
| Управлен ие | 2-ЭВ-1 Троицкая ГРЭС | 3,9 | 3,7 | 20 | 0,8 | 2,5 | Соотв. |

Продолжение таблицы 4.3

| 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 | Соответс- твие допустим ому |
|--------------------------|----------------------------------|-----------------------------|--|---------------------------------------|--|--|--------------------------------------|
| Управлен- ие | 2-ЭВ-1 Шагол | 4,6 | 3,5 | 20 | 0,9 | 2,5 | Соотв. |
| ТТ | ТТ 1-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС | 5,1 | 3,4 | 10 | 2,0 | 2,5 | Соотв. |
| ТТ | ТТ 1-ЭВ-1 ВЛ Шагол | 5,3 | 3,9 | 10 | 1,8 | 2,5 | Соотв. |
| ТТ | ТТ 1-ЭВ-1 ШР 220 | 4,1 | 3,2 | 10 | 1,5 | 2,5 | Соотв. |
| ТТ | ТТ 1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС | 5,6 | 3,4 | 10 | 2,0 | 2,5 | Соотв. |
| ТТ | ТТ 2-ЭВ-1 Троицкая ГРЭС | 4,4 | 3,5 | 10 | 1,9 | 2,5 | Соотв. |
| ТТ | ТТ 2-ЭВ-1 Шагол | 4,7 | 3,5 | 10 | 1,4 | 2,5 | Соотв. |
| Защита | ШР 220 | 3,1 | 3,1 | 8 | 1,2 | 2,5 | Соотв. |

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 2,2 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].

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 42 |

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

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. 3 - А. 6 приложения А. Сопротивление грунта принято равным $20 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. 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.

Результаты расчета в программе «EMI analyzer» излучаемых импульсных помех при ударах молнии в молниеотводы ОРУ-220 кВ представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 - 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 | Соответствие допустимому |
|---------------------------|---------------------------------|-----------|------------------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------|
| ОРУ-220 кВ | | | | | | |
| M1 | КС ВЛ Троицкая ГРЭС - БВС | ВЧ связь | 3,2 | 0,4 | 4,0 | Соотв. |
| | ТН 1 СШ - БВС | ТН | 1,3 | 0,9 | 4,0 | Соотв. |
| | ТН 1 СШ - БВС | ТН | 1,5 | 0,4 | 4,0 | Соотв. |
| M2 | 1-ТН ВЛ Шагол - БВС | ТН | 3,0 | 0,4 | 4,0 | Соотв. |
| | КС ВЛ Шагол - БВС | ВЧ связь | 1,3 | 0,6 | 4,0 | Соотв. |

Продолжение таблицы 4.4

| Наименование молниеотвода | Трасса прокладки кабелей | цепей | Потенциал, наведенный в кабеле, кВ | Напряжение на входе МП устройств, кВ | Допустимое напряжение на входе МП устройств, кВ | ответствие допустимому |
|---------------------------|----------------------------------|------------|------------------------------------|--------------------------------------|---|------------------------|
| М3 | 1-ЭВ-1 ШР 220 - БВС | Управление | 1,5 | 0,8 | 4,0 | Соотв. |
| | ТТ 1-ЭВ-1 ШР 220 - БВС | ТТ | 0,9 | 0,9 | 4,0 | Соотв. |
| М4 | 1-ЭВ-1 ВЛ Шагол - БВС | Управление | 0,2 | 0,4 | 4,0 | Соотв. |
| | ТТ1-ЭВ-1 ВЛ Шагол - БВС | ТТ | 1,2 | 0,6 | 4,0 | Соотв. |
| М5 | 1-ЭВ-2 ВЛ Троицкая ГРЭС - БВС | Управление | 0,7 | 0,3 | 4,0 | Соотв. |
| М6 | 1-ЭВ-2 ВЛ Троицкая ГРЭС - БВС | Управление | 0,5 | 0,3 | 4,0 | Соотв. |
| М7 | 2-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС - БВС | Управление | 1,3 | 1,4 | 4,0 | Соотв. |
| | ТТ 2-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС - БВС | ТТ | 1,5 | 1,4 | 4,0 | Соотв. |
| М8 | 2-ЭВ-1 ВЛ Шагол - БВС | Управление | 0,3 | 0,2 | 4,0 | Соотв. |
| М9 | ТН АТ - БВС | ТН | 2,1 | 1,7 | 4,0 | Соотв. |
| | ШР 220 - БВС | Защита | 2,2 | 1,7 | 4,0 | Соотв. |
| М10 | ТН 2 СШ - БВС | ТН | 0,2 | 0,2 | 4,0 | Соотв. |
| Трос | БВС | Все цепи | 0,4 | 0,5 | 4,0 | Соотв. |

Выводы:

1) Уровень импульсных излучаемых помех от ударов молнии на входах МП устройств, установленных в РЩ ОРУ-220 кВ, не превысит 3,2 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].

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 44 |

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

Для проведения расчетов в программе «ОРУ-Проект» использовался чертеж «Молниезащита и заземление. ОРУ-220 кВ. План. 122N15A-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 А1, А.2 приложения А. Сопротивление грунта принято равным $\rho_1 = 20$ Ом*м, $\rho_2 = 18$ Ом*м, глубина раздела слоев $h = 0,8$ м.

Результаты расчета импульсных перенапряжений, действующих на изоляцию кабелей при ударах молнии, представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Импульсные напряжения, действующие 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 | | Соотв. допустимому |
|--|---|---|---------------------------|------------------|--------------------|
| | | | 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 | 7,5 | 0,75 | 23,0 | 4,0 | Соотв. |
| М2 ток молнии 100 кА, сопротивление молниеотвода 0,66 Ом, потенциал на ЗУ 66,2 кВ | | | | | |
| 1-ТН ВЛ Шагол-БВС | 4 | 0,52 | 23,0 | 4,0 | Соотв. |
| 2-ТН ВЛ Шагол - БВС | 2,3 | 0,45 | 23,0 | 4,0 | Соотв. |
| М3, ток молнии 100 кА, сопротивление молниеотвода 0,50 Ом, потенциал на ЗУ 49,6 кВ | | | | | |
| 1-ЭВ-1 ШР 220-БВС | 15 | 1,2 | 23,0 | 4,0 | Соотв. |
| ТТ 1-ЭВ-1 ШР 220-БВС | 9,2 | 1,06 | 23,0 | 4,0 | Соотв. |
| М4, ток молнии 100 кА, сопротивление молниеотвода 0,58 Ом, потенциал на ЗУ 57,6 кВ | | | | | |
| 1-ЭВ-1 ВЛ Шагол-БВС | 3,9 | 0,55 | 23,0 | 4,0 | Соотв. |
| М5, ток молнии 100 кА, сопротивление молниеотвода 0,58 Ом, потенциал на ЗУ 58,3 кВ | | | | | |
| 1-ЭВ-2 ВЛ Троицкая ГРЭС -БВС | 3,2 | 0,3 | 23,0 | 4,0 | Соотв. |

Продолжение таблицы 4.5

| Трасса кабеля | Расчетное максимальное напряжение на кабеле, кВ | Напряжение, приложенное к входу МП устройства, кВ | Допустимое напряжение, кВ | | Соотв. допустимому |
|---|---|---|---------------------------|------------------|--------------------|
| | | | На кабеле | На МП устройстве | |
| 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 | Соотв. |
| ТТ 2-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС - БВС | 3,5 | 0,35 | 23,0 | 4,0 | Соотв. |
| 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 | Соотв. |
| ТТ 2-ЭВ-1 ВЛ Шагол - БВС | 3,4 | 0,34 | 23,0 | 4,0 | Соотв. |
| 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 | Соотв. |
| ОРУ-220 кВ - БВС (кабельный канал) | 18,9 | - | 23,0 | - | Соотв. |
| 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 | Соотв. |
| 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 | | | | | |

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.5 - А.6 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 электромагнитных полей промышленной частоты

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 внутривозрастные 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.

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.

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

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 47 |

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.

По результатам измерений фоновая напряженность электромагнитных полей РЧ диапазона в здании БВС не превысит 2,3 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.

Ближайшими молниеприемниками к помещению РЩ 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 РЩ ОРУ-220 кВ здания БВС составит 21,9 А/м.

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

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 РЩ ОРУ- 220 кВ составит 214 А/м.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 48 |

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

Для проведения расчетов использовались чертежи «ОРУ-220 кВ. Расстановка оборудования. 122N15A-21UAA-12693-ED, л.2», «Генеральный план и внутриплощадочные 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 4.6 - 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 | 24 | 65 | В норме |
| КС ВЛ Шагол | 18 | 65 | В норме |
| 1-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС | 32 | 65 | В норме |
| 1-ТН ВЛ Шагол | 26 | 65 | В норме |
| 2-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС | 39 | 65 | В норме |
| 2-ТН ВЛ Шагол | 25 | 65 | В норме |
| ТН 1 СШ | 43 | 65 | В норме |

Продолжение таблицы 4.6

| Место КЗ | Напряжение прикосновения, В | Допустимое напряжение прикосновения, В | Выводы |
|----------------------------|-----------------------------|--|---------|
| ТН 2 СШ | 38 | 65 | В норме |
| ТН АТ | 29 | 65 | В норме |
| 1-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС | 21 | 65 | В норме |
| 1-ЭВ-1 ВЛ Шагол | 14 | 65 | В норме |
| 1-ЭВ-1 ШР 220 | 19 | 65 | В норме |
| 1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС | 21 | 65 | В норме |
| 2-ЭВ-1 Троицкая ГРЭС | 27 | 65 | В норме |
| 2-ЭВ-1 Шагол | 34 | 65 | В норме |
| ТТ 1-ЭВ-1 ВЛ Троицкая ГРЭС | 35 | 65 | В норме |
| ТТ 1-ЭВ-1 ВЛ Шагол | 29 | 65 | В норме |
| ТТ 1-ЭВ-1 ШР 220 | 19 | 65 | В норме |
| ТТ 1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС | 34 | 65 | В норме |
| ТТ 2-ЭВ-1 Троицкая ГРЭС | 26 | 65 | В норме |
| ТТ 2-ЭВ-1 Шагол | 14 | 65 | В норме |

Выводы:

Максимальное напряжение прикосновения на ОРУ-220 кВ равно 43 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

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.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 50 |

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

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.

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.

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

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 51 |

4.9 Воздействие тока КЗ на проводники

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 4.7 - 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 | 484 | 247 | 2000 | 670 | Соотв. |
| КС ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С | КС ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С - БВС | 459 | 274 | 2000 | 670 | Соотв. |
| КС ВЛ Шагол, ф. А | КС ВЛ Шагол, ф. А-БВС | 489 | 248 | 2000 | 670 | Соотв. |
| КС ВЛ Шагол, ф. В | КС ВЛ Шагол, ф. В-БВС | 485 | 231 | 2000 | 670 | Соотв. |
| 1-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. А | 1-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. А - БВС | 495 | 465 | 2000 | 1800 | Соотв. |

Продолжение таблицы 4.7

| 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 ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. В | 1-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. В - БВС | 469 | 431 | 2000 | 1800 | Соотв. |
| 1-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С | 1-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С - | 495 | 432 | 2000 | 1800 | Соотв. |
| 1-ТН ВЛ Шагол, ф. А | 1-ТН ВЛ Шагол, ф. А-БВС | 499 | 379 | 2000 | 1800 | Соотв. |
| 1-ТН ВЛ Шагол, ф. В | 1-ТН ВЛ Шагол, ф. В - БВС | 483 | 395 | 2000 | 1800 | Соотв. |
| 1-ТН ВЛ Шагол, ф. С | 1-ТН ВЛ Шагол, ф. С - БВС | 475 | 428 | 2000 | 1800 | Соотв. |
| 2-ТН ВЛ Шагол, ф. А | 2-ТН ВЛ Шагол, ф. А-БВС | 455 | 375 | 2000 | 1800 | Соотв. |
| 2-ТН ВЛ Шагол, ф. В | 2-ТН ВЛ Шагол, ф. В-БВС | 469 | 384 | 2000 | 1800 | Соотв. |
| 2-ТН ВЛ Шагол, ф. С | 2-ТН ВЛ Шагол, ф. С-БВС | 468 | 382 | 2000 | 1800 | Соотв. |
| 2-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. А | 2-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. А- БВС | 485 | 484 | 2000 | 1800 | Соотв. |
| 2-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. В | 2-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. В - БВС | 469 | 465 | 2000 | 1800 | Соотв. |
| 2-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С | 2-ТН ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С - БВС | 474 | 465 | 2000 | 1800 | Соотв. |
| ТН 1 СШ, ф.А | ТН 1 СШ, ф. А- БВС | 469 | 482 | 2000 | 1800 | Соотв. |
| ТН 1 СШ, ф. В | ТН 1 СШ, ф. В- БВС | 508 | 501 | 2000 | 1800 | Соотв. |
| ТН 1 СШ, ф.С | ТН 1 СШ, ф. С- БВС | 478 | 489 | 2000 | 1800 | Соотв. |

Продолжение таблицы 4.7

| 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. А | ТН 2 СШ, ф. А- БВС | 395 | 511 | 2000 | 1800 | Соотв. |
| ТН 2 СШ, ф. В | ТН 2СШ, ф. В- БВС | 379 | 485 | 2000 | 1800 | Соотв. |
| ТН 2 СШ, ф. С | ТН 2 СШ, ф. С- БВС | 355 | 497 | 2000 | 1800 | Соотв. |
| ТН АТ, ф. А | ТН АТ, ф. А - БВС | 345 | 562 | 2000 | 1800 | Соотв. |
| ТН АТ, ф. В | ТН АТ, ф. В - БВС | 341 | 583 | 2000 | 1800 | Соотв. |
| ТН АТ, ф. С | ТН АТ, ф. С - БВС | 335 | 545 | 2000 | 1800 | Соотв. |
| 1-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. А | 1-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. А | 458 | 274 | 2000 | 460 | Соотв. |
| 1-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. В | 1-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. В - БВС | 462 | 284 | 2000 | 460 | Соотв. |
| 1-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С | 1-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С- БВС | 469 | 315 | 2000 | 460 | Соотв. |
| ТТ 1-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. А | ТТ 1-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. А- БВС | 456 | 327 | 2000 | 460 | Соотв. |
| ТТ 1-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. В | ТТ 1-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. В- БВС | 444 | 306 | 2000 | 460 | Соотв. |
| ТТ 1-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С | ТТ 1-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С - БВС | 442 | 314 | 2000 | 460 | Соотв. |
| 1-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. А | 1-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. А - БВС | 419 | 247 | 2000 | 460 | Соотв. |
| 1-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. В | 1-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф.В - БВС | 448 | 275 | 2000 | 460 | Соотв. |

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

ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР

Лист

54

Продолжение таблицы 4.7

| 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-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. С | 1-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. С - БВС | 439 | 261 | 2000 | 460 | Соотв. |
| ТТ 1-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. А | ТТ 1-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. А - БВС | 456 | 269 | 2000 | 460 | Соотв. |
| ТТ 1-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. В | ТТ 1-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. В - БВС | 469 | 274 | 2000 | 460 | Соотв. |
| ТТ 1-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. С | ТТ 1-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. С - БВС | 464 | 251 | 2000 | 460 | Соотв. |
| 1-ЭВ-1 ШР 500, ф. А | 1-ЭВ-1 ШР 500, ф. А - БВС | 311 | 231 | 2000 | 460 | Соотв. |
| 1-ЭВ-1 ШР 500, ф. В | 1-ЭВ-1 ШР 500, ф. В - БВС | 295 | 221 | 2000 | 460 | Соотв. |
| 1-ЭВ-1 ШР 500, ф. С | 1-ЭВ-1 ШР 500, ф. С - БВС | 283 | 219 | 2000 | 460 | Соотв. |
| ТТ 1-ЭВ-1 ШР 500, ф. А | ТТ1-ЭВ-1 ШР 500, ф. А - БВС | 407 | 305 | 2000 | 460 | Соотв. |
| ТТ 1-ЭВ-1 ШР 500, ф. В | ТТ1-ЭВ-1 ШР 500, ф. В - БВС | 465 | 334 | 2000 | 460 | Соотв. |
| ТТ 1-ЭВ-1 ШР 500, ф. С | ТТ1-ЭВ-1 ШР 500, ф. С - БВС | 454 | 328 | 2000 | 460 | Соотв. |
| 1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС, ф. А | 1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС, ф. А - БВС | 401 | 317 | 2000 | 460 | Соотв. |
| 1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС, ф. В | 1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС, ф. В - БВС | 415 | 314 | 2000 | 460 | Соотв. |
| 1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС, ф. С | 1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС, ф. С - БВС | 424 | 342 | 2000 | 460 | Соотв. |
| ТТ 1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС, ф. А | ТТ 1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС, ф. А - БВС | 439 | 355 | 2000 | 460 | Соотв. |
| ТТ 1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС, ф. В | ТТ 1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС, ф. В - БВС | 427 | 324 | 2000 | 460 | Соотв. |

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

ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР

Лист

55

Продолжение таблицы 4.7

| 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-2 Троицкая ГРЭС, ф. С | ТТ 1-ЭВ-2 Троицкая ГРЭС, ф. С- БВС | 455 | 363 | 2000 | 460 | Соотв. |
| 2-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. А | 2-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. А - БВС | 340 | 353 | 2000 | 460 | Соотв. |
| 2-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. В | 2-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. В - БВС | 360 | 364 | 2000 | 460 | Соотв. |
| 2-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С | 2-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С- БВС | 350 | 352 | 2000 | 460 | Соотв. |
| ТТ2-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. А | ТТ2-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. А- БВС | 371 | 298 | 2000 | 460 | Соотв. |
| ТТ2-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. В | ТТ2-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. В- БВС | 395 | 398 | 2000 | 460 | Соотв. |
| ТТ2-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С | ТТ2-ЭВ-1, ВЛ Троицкая ГРЭС, ф. С- БВС | 382 | 402 | 2000 | 460 | Соотв. |
| 2-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. А | 2-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. А - БВС | 411 | 324 | 2000 | 460 | Соотв. |
| 2-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. В | 2-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. В - БВС | 398 | 335 | 2000 | 460 | Соотв. |
| 2-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. С | 2-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. С - БВС | 384 | 298 | 2000 | 460 | Соотв. |
| ТТ2-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. А | ТТ2-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. А - БВС | 403 | 303 | 2000 | 460 | Соотв. |
| ТТ2-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. В | ТТ2-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. В - БВС | 424 | 335 | 2000 | 460 | Соотв. |
| ТТ2-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. С | ТТ2-ЭВ-1, ВЛ Шагол, ф. С - БВС | 411 | 332 | 2000 | 460 | Соотв. |

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

ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР

Лист

56

Продолжение таблицы 4.7

| 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. А | ШР 500, ф. А- БВС | 312 | 335 | 2000 | 460 | Соотв. |
| ШР 500, ф. В | ШР 500, ф. В - БВС | 306 | 319 | 2000 | 460 | Соотв. |
| ШР 500, ф. С | ШР 500, ф. С - БВС | 321 | 319 | 2000 | 460 | Соотв. |

Выводы:

1) При однофазных КЗ на ОРУ-220 кВ уровни напряжений промышленной частоты, воздействующие на изоляцию контрольных кабелей, не превысят 508 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.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 57 |

5 ИЗМЕРЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ

5.1 Принцип измерения амплитуды импульсных помех

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.

Результаты измерения помех при КЗ на ОРУ-220 кВ приведены в таблице 5.1. Таблица 5.1 - Результаты измерения помех при КЗ при подъеме 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 | 5,11 | 2,5 | Выше нормы |
| Цепи ВЧ связи | КС ВЛ Шагол | 7,85 | 3,7 | 6 | 4,93 | 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 |

| | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|--------------------------------|--|--|--|------|
| | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | | | | Лист |
| | | | | | | | | 58 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | |

Продолжение таблицы 5.1

| 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 | 2-ТН ВЛ Шагол | 5,62 | 3,8 | 10 | 2,14 | 2,5 | В норме |
| 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 |

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].

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].

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 60 |

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

В таблице 6.1 приведены результаты расчетов уровней электромагнитных воздействий на МП аппаратуру.

Таблица 6.1 – 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 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) | 0,0023 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) | 214 А/м | 4 ст. (300 А/м) |

Продолжение таблицы 6.1

| 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. |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании расчетов электромагнитных помех для МП аппаратуры, устанавливаемой в РЩ ОРУ-220 кВ здания БВС для оборудования ОРУ-220 кВ, получена следующая картина электромагнитной обстановки:

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]. При этом защита от выноса потенциала не требуется.

2) Максимальное напряжение прикосновения на ОРУ-600 кВ в ячейках ВЛ равно 43 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]. Рекомендуется установить на входах МП устройств, использующих цепи ВЧ связи, варистор типа S20K1000 или аналогичный, при этом предпочтительно применение входящих в заводскую поставку УЗИП.

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].

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 63 |

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.

9) Напряженность импульсного магнитного поля в помещении РЩ ОРУ-220 кВ и в местах установки МП аппаратуры составляет 214 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.

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

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 64 |

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 65 |

10 Правила устройства электроустановок. Издание седьмое. Глава 1.7. Глава 4.2. - Москва: ЭНАС, 2002.

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.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 66 |

20 ГОСТ Р 51317.4.6-99. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к кондуктивным помехам, наведенным радиочастотными электромагнитными полями. Требования и методы испытаний.

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

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.04.02.2019.161.01 ВКР | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 67 |

