

Аннотация

Данная выпускная квалификационная работа посвящена проектированию гарантированного электропитания Жигулёвской ГЭС.

Проект включает в себя:

- расчет токов короткого замыкания;
- выбор оборудования: шкафа АВР, автоматов;
- выбор и прокладку кабелей;
- выбор агрегатов бесперебойного питания;
- САУ СГП.

Расчетная часть работы написана на 69 листах, состоит из 8 разделов, содержит 3 таблицы, 8 рисунков.

Содержание

Введение.....	6
1 Описание объекта проектирования.....	8
2 Список используемых сокращений.....	9
3 Общие положения	10
4 Назначение системы гарантированного питания.....	12
5 Расчет параметров схемы замещения сети питания ИБП в ППУ-220 с питанием от трансформаторов 9ТС и 10ТС.....	17
6 Расчет токов короткого замыкания для точки К1.....	26
7 Выбор оборудования.....	32
7.1 Выбор кабелей.....	32
7.1.1 Выбор сечения жил кабеля по экономической плотности тока.....	32
7.1.2 Проверка силового кабеля на термическую стойкость и на не возгорание.....	32
7.2 Выбор автоматических выключателей.....	37
7.3 Выбор шкафа АВР.....	39
8 Система автоматического управления схем гарантированного питания.....	45
8.1 Цели, назначение и области использования системы	45
8.2 Сведения о НИР.....	45
8.3 Описание процесса деятельности	46
8.3.1 Краткие сведения об объекте автоматизации	46
8.3.2 Структура программного обеспечения.....	48
8.3.2.1. Функции частей программного обеспечения.....	49
8.4 Основные технические решения.....	53
8.4.1 Решения по структуре системы, средствам и способам связи для информационного обмена между компонентами системы	53
8.4.2 Сбор и первичная обработка дискретных сигналов	53
8.4.3 Сбор и первичная обработка аналоговых сигналов	54

8.4.4 Решения по уровню контроллеров	55
8.4.5 Решения по организации сети нижнего уровня	55
8.4.6 Решения по серверу SCADA	56
8.4.7 Решения по организации архивирования	56
8.4.8 Решения по организации АРМ оперативного персонала	57
8.4.9 Решения по организации АРМов специалистов	58
8.4.10 Решения по сбору и первичной обработке информации, вводимой вручную с клавиатуры и операторских панелей	58
8.4.11 Решения по технической диагностике	59
8.4.12 Решения по регистрации аварийных событий	59
8.4.13 Решения по протоколированию информации	59
8.4.14 Решения по синхронизации с системой единого времени	60
8.4.15 Решения по формированию отчетной документации	60
8.4.16 Решения по защите от несанкционированного доступа	60
8.4.17 Решения по взаимосвязи системы со смежными системами, обеспечение ее совместимости времени	61
8.4.18 Решения по функционированию системы, диагностированию работы системы	61
8.5 Обеспечение характеристик	62
8.5.1 Состав функций, комплексов задач реализуемых системой	62
8.5.2. Информационные функции	62
8.5.3 Управляющие функции	62
8.5.4 Сервисные функции	63
Заключение.....	66
Список использованных источников.....	67

Введение

Электроэнергетика – это комплексная отрасль хозяйства, которая включает в свой состав отрасль по производству электроэнергии и передачу ее до потребителя. Электроэнергетика является важнейшей базовой отраслью промышленности России. От уровня ее развития зависит все народное хозяйство страны, а так же уровень развития научно-технического прогресса в стране.

Энергетический сектор обеспечивает жизнедеятельность всех отраслей национального хозяйства, способствует консолидации субъектов Российской Федерации, во многом определяет формирование основных финансово-экономических показателей страны. Природные топливно-энергетические ресурсы, производственный, научно-технический и кадровый потенциал энергетического сектора экономики являются национальным достоянием России. Эффективное его использование создает необходимые предпосылки для вывода экономики страны на путь устойчивого развития, обеспечивающего рост благосостояния и повышение уровня жизни населения.

Важным направлением в развитии электроэнергетики является строительство гидроэлектростанций. Особенность современного развития электроэнергетики – сооружение электроэнергетических систем, их объединение и создание Единой энергетической системы (ЕЭС) страны.

Данная выпускная квалификационная работа отражает процесс проектирования гарантированного электропитания Жигулевской ГЭС.

В ходе проектирования затрагиваются все аспекты проектирования электроснабжения необходимые для нормального функционирования при номинальных и послеаварийных режимах.

Целью данной работы является разработка рациональной, качественной и эффективной системы гарантированного электропитания Жигулёвской ГЭС. Задачами проекта являются проведение расчётно-графических и

аналитических работ по определению токов короткого замыкания, полупроводникового, коммутационного оборудования и кабелей, так же установка агрегата бесперебойного питания.

1 Описание объекта проектирования

Жигулевская ГЭС, мощностью 2341 МВт, является одной из крупнейших гидроэлектростанций в мире по мощности и выработке электроэнергии и самым первым гигантом отечественной энергетики. Это шестая ступень и вторая по мощности ГЭС Волжско-Камского каскада. Станция ежегодно вырабатывает более 10 млрд. кВт·ч недорогой электроэнергии с последующей ее передачей в Единую энергосистему России.

В состав основных сооружений гидроузла входят: гидроэлектростанция совмещенного типа длиной 700 м, сороудерживающее сооружение длиной 633,3 м, водосливная плотина, земляная плотина, грязеспуск, двухступенчатый двухкамерный шлюз с межшлюзовым бьефом, причальные сооружения, ОРУ 500, 220 и 110 кВ. Здание ГЭС состоит из десяти агрегатных секций с донными водосбросами над отсасывающими трубами. В машинном зале длиной 600 м размещено 7 гидроагрегатов мощностью по 115 МВт и 13 прошедших модернизацию мощностью 125,5 МВт с поворотно-лопастными турбинами диаметром рабочего колеса 9,3 м и генераторами зонтичного исполнения. Гидроэлектростанция, совмещенная с донными водосбросами (40 отверстий), рассчитана на пропуск 29600 м³/с воды, в том числе через донные водосбросы 18000 м³/с. В левом устье станции расположен грязеспуск с пролетом шириной 10,5 м. Пропускная способность — 315 м³/с.

Электроэнергия, вырабатываемая гидроэлектростанцией, передается на напряжении 500, 220 и 110 кВ, причем на напряжении 500 кВ по двум линиям электропередачи выдается около 1 500 МВт в Московскую энергосистему и по одной линии электропередачи около 800 МВт - в энергосистему Урала и по второй линии электропередачи 500 кВ в Самараэнерго.

2 Список используемых сокращений

АБП – Агрегат бесперебойного питания;

АСДУ - Автоматизированные системы диспетчерско-технологического управления;

АВР – Автоматический ввод резерва;

ВСН - Ведомственные строительные нормативы;

ДИ ОРУ - Дежурный инженер ОРУ;

ЗИП - Запасные изделия и приборы;

КЗ - Короткое замыкание;

ОПУ - Оперативный пульт управления;

ПШУ - Подстанционный пульт управления;

ПТЭ - Правила технической эксплуатации;

ПУЭ - Правила устройства электроустановок;

САУ - Система автоматического управления;

СГП - Система гарантированного питания;

ЩСН - Щит собственных нужд.

3 Общие положения

Данный раздел выполнен на основании:

- Задания руководителя на проектирование;
- ПТЭ электростанций и сетей Российской Федерации, раздел 6.11.

"Средства диспетчерского и технологического управления";

- Программы ТПиР ОАО «Жигулевская ГЭС»;
- Анализа технологических отказов;

- Анализа структурных схем электропитания устройств релейной защиты и автоматики;

- Фактического состояния оборудования электропитания устройств релейной защиты и автоматики;

- «Руководящих указаний по проектированию электропитания технических средств диспетчерского и технологического управления». ЭНЕРГОСЕТЬ ПРОЕКТ, 1987.

Раздел выполнен в соответствии с ПТЭ, ВСН 332-93, ПУЭ, Руководящими указаниями 11619ТМ-Т1.

В состав настоящего раздела включены чертежи, необходимые для монтажа комплекса системы гарантированного питания и распределительного устройства ППУ-220кВ ЖигГЭС, а так же для подключения распределительной сети технологического оборудования.

СПП распределительного устройства ППУ-220кВ ЖигГЭС, предназначена для обеспечения гарантированным однофазным электропитанием переменного тока напряжением 220В следующих устройств:

- технологического оборудования ППУ-220кВ;
- системных блоков персональных компьютеров АРМ;
- мониторов всех типов;
- струйных и матричных принтеров;
- модемов;
- концентраторов и коммутаторов ИВС;

- факсимильных аппаратов;
- оборудование точек доступа Wi-Fi;
- систем контроля доступа;
- систем видеонаблюдения;
- устройств сигнализации.

4 Назначение системы гарантированного питания

Технологические потребители ППУ-220кВ, относятся к потребителям I категории по классификации ПУЭ 7-го издания. Необходимая надежность электроснабжения обеспечивается:

- предусматриваемым настоящим проектом устройством электроснабжения трехфазной сети переменного тока напряжением 380В с двумя независимыми вводами через АВР;
- проектируемым оборудованием бесперебойного питания;
- дублированными кабелями проектируемой распределительной сети;

При проектировании предполагается, что действующее устройство защитного заземления соответствует ГОСТ Р 50571.21-2000 (сопротивление рабоче- защитного заземления менее 4 Ом) и остается без изменений. Протокол измерения подтверждает сопротивление заземления 0,3 Ом.

Проектом предусматривается:

- построение системы гарантированного питания по системе TN-C--S;
- демонтаж выведенных из эксплуатации панелей Р-8, Р-9, Р-10;
- монтаж распределительного шкафа 0,4кВ АВР на месте панели Р-8;
- установка на местах панелей Р-9, Р-10 агрегата бесперебойного питания Энертроник UPS Power Line RMT TL производства компании Benning (Германия), резервированного по схеме N+1;
- установка 2х дополнительных автоматических выключателей MerlinGerin NG125 125А на ЩСН нового помещения по одному на секции 1 и секции 2;
- прокладка нового силового кабеля от панели Р-8 до:
- ЩСН нового помещения ППУ-220кВ, 1-я секция, автоматический выключатель «СГП Ввод 1»;

- ЩСН нового помещения ППУ-220кВ, 2-я секция, автоматический выключатель «СГП Ввод 2».

- прокладка по подпультовому помещению распределительной сети технологического оборудования;

- модернизация оборудования столов ДИ ОРУ в новом и старом помещениях,

- обеспечение эффективного защитного заземления;

- производство пуско-наладочных работ;

- переключение действующего оборудования на систему гарантированного электропитания;

- демонтаж и утилизация выведенного из работы преобразовательного и распределительного оборудования.

Для бесперебойной работы действующих и проектируемых потребителей, настоящим Проектом предусмотрена установка в помещении старого ППУ-220кВ, на месте панели Р-10 агрегата бесперебойного питания UPS Power Line RMT TL производства Benning (Германия) с блоками батарей, устанавливаемых на месте панели Р-9.

Агрегат бесперебойного питания UPS Power Line RMT TL представляет собой полупроводниковые преобразователи со звеном постоянного тока, собранные в модульную конструкцию, состоящую из модулей электропитания и аккумуляторных батарей с резервированием по уровню N+1 и возможностью «горячей» замены модулей.

Предусматриваемый настоящим проектом массив UPS Power Line RMT TL имеет:

-трехфазный вход с диапазоном входного напряжения $\sim 290...480\text{В}$;

-трехфазный выход с номинальным напряжением 380В;

-номинальная выходная мощность (при резервировании N+1) 20кВА/16кВт;

-номинальная (максимальная) выходная мощность с учетом развития 40кВА/32кВт.

- коэффициент выходной мощности 0,8;
- внутренняя байпасная цепь (с автоматическим и ручным переключением);
- необслуживаемые, герметичные свинцово-кислотные или никель – кадмиевые аккумуляторы с сухим электролитом и защитой от саморазрядки, с суммарной емкостью, достаточной для автономной работы не менее 0,5 часа;
- встроенные средства администрирования через сеть Ethernet по протоколу SNMP.

Шкаф АВР СГП, устанавливаемый в старом помещении ППУ-220кВ, собирается из комплектующих производства компании Schneider-Electric.

Конструктив шкафа: Prisma-P, рассчитанный на номинальный ток 3200А и максимальный ударный ток короткого замыкания I_{prk} до 187кА.

На рисунке 1 представлен агрегат бесперебойного питания, на рисунке 2 шкаф АВР, на рисунке 3 блок АБП.



Рисунок 1 – Агрегат бесперебойного питания UPS Power Line RMT TL



Рисунок 2 – Шкаф АВР



Рисунок 3 – Блок АБП UPS Power Line RMT TL

5 Расчет параметров схемы замещения сети питания ИБП в ППУ-220 с питанием от трансформаторов 9ТС и 10ТС

Схема замещения сети питания ИБП в ППУ-220 от трансформатора 9ТС

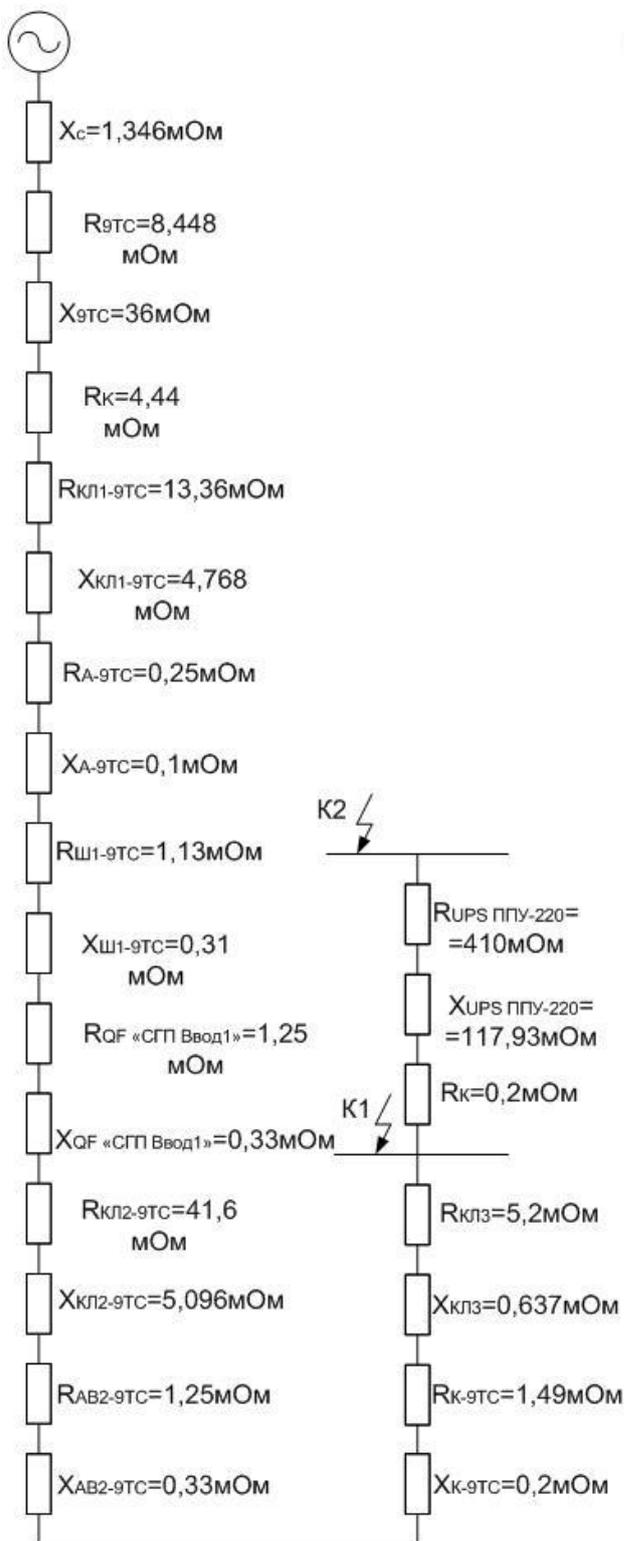


Схема замещения сети питания ИБП в ППУ-220 от трансформатора 10ТС

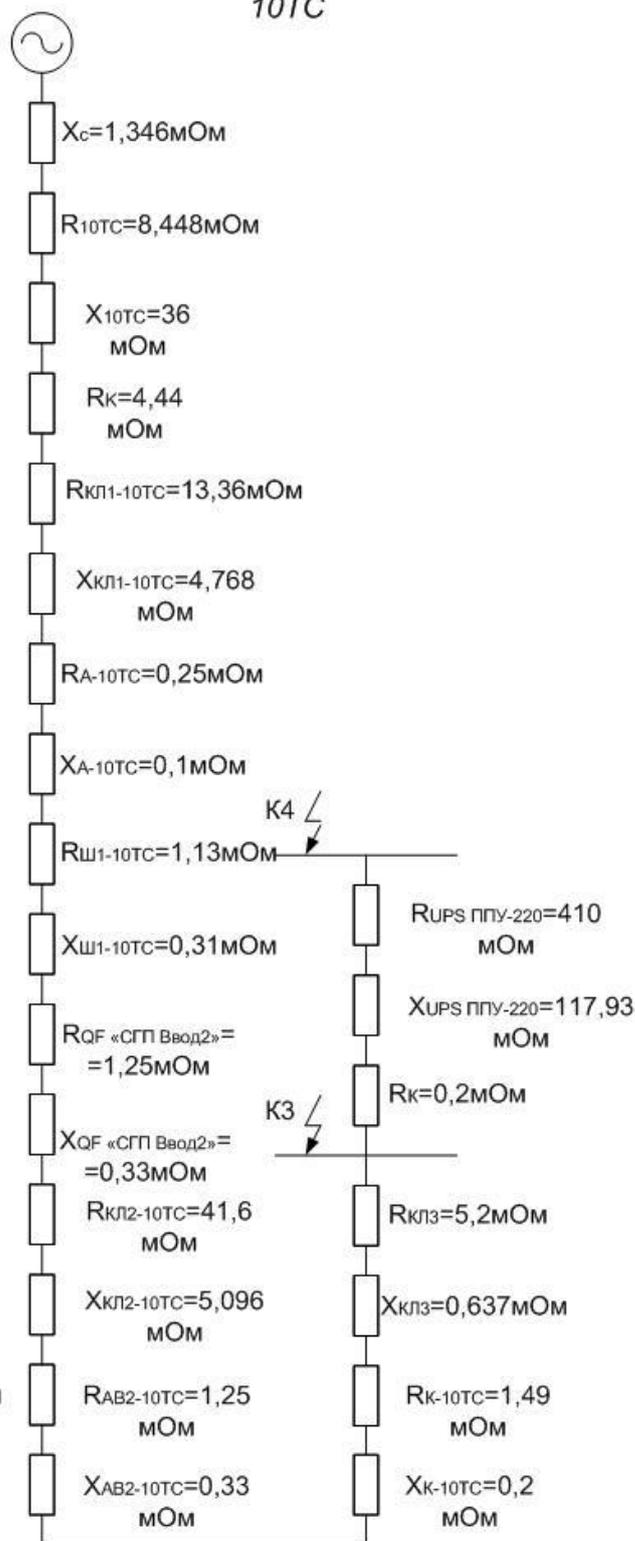


Рисунок 4- Схема замещения сети питания ИБП от трансформаторов 9ТС и 10ТС

Исходные данные: $U_{\text{НВН}} = 10,5$ кВ, $U_{\text{ННН}} = 0,4$ кВ, $I_{\text{КВН}} = 6,536$ кА, $P_{\text{кз}} = 3,3$ МВт, $S_{\text{H}} = 250$ кВА.

Сопротивление системы:

$$X_{\text{C}} = \frac{U_{\text{НВН}}}{\sqrt{3} I_{\text{КВН}}} \frac{U_{\text{ННН}}^2}{U_{\text{НВН}}} \cdot 10^3$$

$$X_{\text{C}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 6,536} \cdot \frac{0,4^2}{10,5} \cdot 10^3 = 1,346 \text{ МОм}$$

Сопротивление трансформатора 9ТС:

$$R_{9\text{ТС}} = \frac{P_{\text{кз}} \cdot U_{\text{ННН}}^2}{S_{\text{H}}^2} \cdot 10^6$$

$$R_{9\text{ТС}} = \frac{3,3 \cdot 0,4^2}{250^2} \cdot 10^6 = 8,448 \text{ МОм}$$

$$Z_{9\text{ТС}} = \frac{U_{\text{к}} \cdot U_{\text{ННН}}^2}{S_{\text{H}}} \cdot 10^4$$

$$Z_{9\text{ТС}} = \frac{5,7 \cdot 0,4^2}{250} \cdot 10^4 = 36,48 \text{ МОм}$$

$$X_{9\text{ТС}} = \sqrt{Z_{9\text{ТС}}^2 - R_{9\text{ТС}}^2}$$

$$X_{9\text{ТС}} = \sqrt{36,48^2 - 8,448^2} = 36 \text{ МОм}$$

$$R_{9\text{ТС}} = 8,448 \text{ МОм}$$

$$X_{9TC} = 36 \text{ мОм}$$

Сопротивление контактов в схеме замещения до точки короткого замыкания:

$$R_K = 4.44 \text{ мОм}$$

Сопротивление кабельной линии КЛ1-9ТС:

$$R_0 = 0,167 \text{ мОм/м}$$

$$X_0 = 0,0596 \text{ мОм/м}$$

$$l = 80 \text{ м}$$

$$R_{\text{КЛ1-9ТС}} = R_0 \cdot l$$

$$R_{\text{КЛ1-9ТС}} = 0,167 \cdot 80 = 13,36 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{КЛ1-9ТС}} = X_0 \cdot l$$

$$X_{\text{КЛ1-9ТС}} = 0,0596 \cdot 80 = 4,768 \text{ мОм}$$

$$R_{0K} = 0,208 \text{ мОм/м}$$

$$X_{0K} = 0,063 \text{ мОм/м}$$

$$R_{0\text{КЛ1-9ТС}} = R_{0K} \cdot l$$

$$R_{0\text{КЛ1-9ТС}} = 0,208 \cdot 80 = 16,64 \text{ мОм}$$

$$X_{0\text{КЛ1-9ТС}} = X_{0\text{К}} \cdot l$$

$$X_{0\text{КЛ1-9ТС}} = 0,063 \cdot 80 = 5,04 \text{ мОм}$$

Сопротивление фазного проводника кабеля 1:

$$R_{\text{КЛ1-9ТС}} = 13,36 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{КЛ1-9ТС}} = 4,768 \text{ мОм}$$

Сопротивление нулевого проводника кабеля 1

$$R_{0\text{КЛ1-9ТС}} = 16,64 \text{ мОм}$$

$$X_{0\text{КЛ1-9ТС}} = 5,04 \text{ мОм}$$

Сопротивление автомата А-9ТС:

$$R_{\text{А-9ТС}} = 0,25 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{А-9ТС}} = 0,1 \text{ мОм}$$

Сопротивление шинпровода Ш1-9ТС:

$$R_0 = 0,266 \text{ мОм/м}$$

$$X_0 = 0,062 \text{ мОм/м}$$

$$l = 5 \text{ м}$$

$$R_{\text{Ш1-9ТС}} = R_0 \cdot l$$

$$R_{\text{Ш1-9TC}} = 0,226 \cdot 5 = 1,13 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{Ш1-9TC}} = X_0 \cdot l$$

$$X_{\text{Ш1-9TC}} = 0,062 \cdot 5 = 0,31 \text{ мОм}$$

$$R_{0\text{Ш}} = 0,12 \text{ мОм/м}$$

$$X_{0\text{Ш}} = 0,21 \text{ мОм/м}$$

$$R_{0\text{Ш1-9TC}} = R_{0\text{Ш}} \cdot l$$

$$R_{0\text{Ш1-9TC}} = 0,12 \cdot 5 = 0,6 \text{ мОм}$$

$$X_{0\text{Ш1-9TC}} = X_{0\text{Ш}} \cdot l$$

$$X_{0\text{Ш1-9TC}} = 0,21 \cdot 5 = 1,05 \text{ мОм}$$

Сопротивление шинпровода:

$$R_{\text{Ш1-9TC}} = 1,13 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{Ш1-9TC}} = 0,31 \text{ мОм}$$

Сопротивление нулевого проводника:

$$R_{0\text{Ш1-9TC}} = 0,6 \text{ мОм}$$

$$X_{0\text{Ш1-9TC}} = 1,05 \text{ мОм}$$

Сопротивление автомата QF «СГП Ввод 1»:

$$R_{QF \text{ "СГП Ввод 1"}} = 1,25 \text{ мОм}$$

$$X_{QF \text{ "СГП Ввод 1"}} = 0,33 \text{ мОм}$$

Сопротивление кабельной линии КЛ12-9ТС:

$$R_0 = 0,524 \text{ мОм/м}$$

$$X_0 = 0,0637 \text{ мОм/м}$$

$$l = 80 \text{ м}$$

$$R_{\text{КЛ12-9ТС}} = R_0 \cdot l$$

$$R_{\text{КЛ12-9ТС}} = 0,524 \cdot 80 = 41,6 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{КЛ12-9ТС}} = X_0 \cdot l$$

$$X_{\text{КЛ12-9ТС}} = 0,0637 \cdot 80 = 5,096 \text{ мОм}$$

$$R_{0\text{К}} = 0,61 \text{ мОм/м}$$

$$X_{0\text{К}} = 0,086 \text{ мОм/м}$$

$$R_{0\text{КЛ12-9ТС}} = R_{0\text{К}} \cdot l$$

$$R_{0\text{КЛ12-9ТС}} = 0,61 \cdot 80 = 48,8 \text{ мОм}$$

$$X_{0\text{КЛ2-9ТС}} = X_{0\text{К}} \cdot l$$

$$X_{0\text{КЛ2-9ТС}} = 0,086 \cdot 80 = 6,88 \text{ мОм}$$

Сопротивление фазного проводника кабеля 2

$$R_{\text{КЛ2-9ТС}} = 41,6 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{КЛ2-9ТС}} = 5,096 \text{ мОм}$$

Сопротивление нулевого проводника кабеля 2

$$R_{0\text{КЛ2-9ТС}} = 48,8 \text{ мОм}$$

$$X_{0\text{КЛ2-9ТС}} = 6,88 \text{ мОм}$$

Сопротивление автомата АВ2-9ТС:

$$R_{\text{АВ2-9ТС}} = 1,25 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{АВ2-9ТС}} = 0,33 \text{ мОм}$$

Сопротивление контактора К-9ТС:

$$R_{\text{К-9ТС}} = 1,49 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{К-9ТС}} = 0,2 \text{ мОм}$$

Сопротивление кабельной линии КЛЗ-9ТС:

$$R_0 = 0,524 \text{ Ом/м}$$

$$X_0 = 0,0637 \text{ мОм/м}$$

$$l = 10 \text{ м}$$

$$R_{\text{КЛЗ-9ТС}} = R_0 \cdot l$$

$$R_{\text{КЛЗ-9ТС}} = 0,52 \cdot 10 = 5,2 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{КЛЗ-9ТС}} = X_0 \cdot l$$

$$X_{\text{КЛЗ-9ТС}} = 0,0637 \cdot 10 = 0,637 \text{ мОм}$$

$$R_{0\text{К}} = 0,61 \text{ мОм/м}$$

$$X_{0\text{К}} = 0,086 \text{ мОм/м}$$

$$R_{0\text{КЛЗ-9ТС}} = R_{0\text{К}} \cdot l$$

$$R_{0\text{КЛЗ-9ТС}} = 0,61 \cdot 10 = 6,1 \text{ мОм}$$

$$X_{0\text{КЛЗ-9ТС}} = X_{0\text{К}} \cdot l$$

$$X_{0\text{КЛЗ-9ТС}} = 0,086 \cdot 10 = 0,86 \text{ мОм}$$

Сопротивление фазного проводника кабеля 3

$$R_{\text{КЛЗ-9ТС}} = 5,2 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{КЛЗ-9ТС}} = 0,637 \text{ мОм}$$

Сопrotивление нулевого проводника кабеля 3

$$R_{0\text{КЛЗ-9TC}} = 6,1 \text{ мОм}$$

$$X_{0\text{КЛЗ-9TC}} = 0,86 \text{ мОм}$$

Суммарные сопротивления до точки К1:

$$R_{\Sigma} = R_{9\text{TC}} + R_{\text{К}} + R_{\text{КЛ1-9TC}} + R_{\text{А-9TC}} + R_{\text{Ш1-9TC}} + R_{\text{QF "СГП Ввод 1"}} + R_{\text{КЛ2-9TC}} + R_{\text{АВ2-9TC}} + R_{\text{К-9TC}} + R_{\text{КЛЗ-9TC}}$$

$$R_{\Sigma} = 8,448 + 4,44 + 13,36 + 0,25 + 1,13 + 1,25 + 41,6 + 1,25 + 1,49 + 5,2 = 78,418 \text{ мОм}$$

$$X_{\Sigma} = X_{\text{С}} + X_{9\text{TC}} + X_{\text{КЛ1-9TC}} + X_{\text{А1-9TC}} + X_{\text{Ш1-9TC}} + X_{\text{QF "СГП Ввод 1"}} + X_{\text{КЛ2-9TC}} + X_{\text{АВ2-9TC}} + X_{\text{К-9TC}} + X_{\text{КЛЗ-9TC}}$$

$$X_{\Sigma} = 1,346 + 36 + 4,768 + 0,1 + 0,31 + 0,33 + 5,096 + 0,33 + 0,2 + 0,637 = 49,117 \text{ мОм}$$

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}$$

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{78,418^2 + 49,117^2} = 92,53 \text{ мОм}$$

6 Расчет токов короткого замыкания для точки К1

В электрических установках могут возникать различные виды короткого замыкания, сопровождающиеся резким увеличением тока. Поэтому электрическое оборудование, устанавливаемое в системах электрического снабжения, должно быть устойчивым к токам короткого замыкания и выбираться с учетом величин этих токов.

Основными причинами возникновения коротких замыканий в сети могут быть: повреждения изоляции от частей электрических установок; неправильные действия обслуживающего персонала; перекрытия токоведущих частей установки.

Короткие замыкания в сети могут сопровождаться: прекращением питания потребителей, присоединенных к точкам, в которых произошло короткое замыкание; нарушением нормальной работы других потребителей, подключенных к поврежденным участкам сети вследствие уменьшения напряжения на этих участках; нарушением нормального режима работы энергосистемы.

Для предотвращения короткого замыкания, уменьшения их последствий необходимо: устранить причины, вызывающие короткое замыкание; применить быстродействующие выключатели; правильно вычислить величины токов короткого замыкания и по ним выбрать необходимую аппаратуру, защиту и сортировать средства для ограничения токов короткого замыкания.

В современных мощных электроустановках ударные токи короткого замыкания достигают больших значений. Возникающие при этом механические усилия между отдельными токоведущими частями аппаратов и элементов распределительных устройств способны вызвать значительные повреждения. Поэтому для надежной работы электрической установки все её элементы должны обладать достаточной динамикой, устойчивостью против этих максимальных механических усилий при возникновении ударного тока.

Трёхфазное короткое замыкание

Ток трёхфазного короткого замыкания:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_{\text{HHH}}}{\sqrt{3}Z_{\Sigma}} \quad ($$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 92,53} = 2,496 \text{ кА}$$

Апериодическая составляющая короткого замыкания:

$$i_{a0} = \sqrt{2} I_{K1}^{(3)}$$

$$i_{a0} = \sqrt{2} \cdot 2,496 = 3,53 \text{ кА}$$

Ударный ток короткого замыкания:

$$K_y = 1,017 - \text{согласно графику зависимости } K_y = f \frac{X}{R}$$

$$i_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1}^{(3)},$$

$$i_y = 1,017 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,036 = 3,592 \text{ кА}$$

Ток трёхфазного дугового короткого замыкания:

$K_{C1} = 0,877$ - снижающий коэффициент дугового короткого замыкания в начале процесса $t_{\text{кз}} < 0,05 \text{ с}$, найден из графиков зависимости $K_C = f(Z_{\Sigma})$.

$K_{C2}=0,784$ - снижающий коэффициент дугового короткого замыкания в начале процесса $t_{кз}>0,05с$, найден из графиков зависимости $K_C = f(Z_\Sigma)$.

$$I_{КД1-1}^{(3)} = K_{C1} \cdot I_{К1}^{(3)}$$

$$I_{КД1-1}^{(3)} = 0,877 \cdot 2,496 = 2,19 \text{ кА}$$

$$I_{КД2-1}^{(3)} = K_{C2} \cdot I_{К1}^{(3)}$$

$$I_{КД2-1}^{(3)} = 0,784 \cdot 2,509 = 1,957 \text{ кА}$$

Двухфазное короткое замыкание:

Сопротивление цепи:

$$Z_\Sigma = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{R_\Sigma^2 + X_\Sigma^2}$$

$$Z_\Sigma = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{78,418^2 + 49,117^2} = 106,845 \text{ МОм}$$

Ток двухфазного короткого замыкания:

$$I_{К1}^{(2)} = \frac{U_{ННН}}{3Z_\Sigma}$$

$$I_{К1}^{(2)} = \frac{400}{3 \cdot 106,845} = 2,161 \text{ кА}$$

Ток двухфазного дугового короткого замыкания:

$K_{C1}=0,894$ - снижающий коэффициент дугового короткого замыкания в начале процесса $t_{кз}<0,05с$, найден из графиков зависимости $K_C = f(Z_\Sigma)$.

$K_{C2}=0,8$ - снижающий коэффициент дугового короткого замыкания в начале процесса $t_{кз}>0,05с$, найден из графиков зависимости $K_C = f(Z_\Sigma)$.

$$I_{КД1-1}^{(2)} = K_{C1} \cdot I_{K1}^{(2)}$$

$$I_{КД1-1}^{(2)} = 0,894 \cdot 2,161 = 1,933 \text{ кА}$$

$$I_{КД2-1}^{(2)} = K_{C2} \cdot I_{K1}^{(2)}$$

$$I_{КД2-1}^{(2)} = 0,8 \cdot 2,161 = 1,73 \text{ кА}$$

Однофазное короткое замыкание на землю

Сопrotивление цепи нулевой последовательности:

$$R_{0\Sigma} = R_{09TC} + R_{0КЛ1-9TC} + R_{0Ш1-9TC} + R_{0КЛ2-9TC} + R_{0КЛ3-9TC}$$

$$R_{0\Sigma} = 8,448 + 16,64 + 0,6 + 48,8 + 6,1 = 80,588 \text{ мОм}$$

$$X_{0\Sigma} = X_{09TC} + X_{0КЛ1-9TC} + X_{0Ш1-9TC} + X_{0КЛ2-9TC} + X_{0КЛ3-9TC}$$

$$X_{0\Sigma} = 36 + 5,04 + 1,05 + 6,88 + 0,86 = 49,83 \text{ мОм}$$

$$Z_\Sigma = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{2R_\Sigma + R_{0\Sigma}^2 + 2X_\Sigma + X_{0\Sigma}^2}$$

$$Z_{\Sigma} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot 78,418 + 80,588^2 + 2 \cdot 49,117 + 49,83^2} = 93,27 \text{ мОм}$$

Ток однофазного короткого замыкания на землю:

$$I^{(1,1)}_{K1} = \frac{U_{\text{HHH}}}{\sqrt{3} Z_{\Sigma}}$$

$$I^{(1,1)}_{K1} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 93,27} = 2,476 \text{ кА}$$

Ток однофазного дугового короткого замыкания на землю:

$K_{C1}=0,876$ - снижающий коэффициент дугового короткого замыкания в начале процесса $t_{\text{кз}} < 0,05\text{с}$, найден из графиков зависимости $K_C = f(Z_{\Sigma})$.

$K_{C2}=0,783$ - снижающий коэффициент дугового короткого замыкания в начале процесса $t_{\text{кз}} > 0,05\text{с}$, найден из графиков зависимости $K_C = f(Z_{\Sigma})$.

$$I^{(1,1)}_{\text{КД1-1}} = K_{C1} \cdot I^{(1,1)}_{K1}$$

$$I^{(1,1)}_{\text{КД1-1}} = 0,876 \cdot 2,476 = 2,169 \text{ кА}$$

$$I^{(1,1)}_{\text{КД2-1}} = K_{C2} \cdot I^{(1,1)}_{K1}$$

$$I^{(1,1)}_{\text{КД2-1}} = 0,783 \cdot 2,476 = 1,939 \text{ кА}$$

Аналогично проводим расчеты для точек К2, К3 и К4. Полученные данные сведем в таблицу 1.

Таблица 1-Результаты расчетов

№ п./п.	Точка КЗ	Наименование КЗ	Полное суммарное сопротивление, МОм	Ток КЗ, кА	Апериодическая составляющая КЗ, кА	Ударный ток КЗ, кА	Ток начало процесса дугового КЗ $t_{кз}<0,05$ с, кА	Ток установившегося дугового КЗ $t_{кз}>0,05$ с, кА
1	1	3-х фазное	92,53	2,496	3,53	3,592	2,19	1,957
2		2-х фазное	106,845	2,161			1,933	1,73
3		1 фазное на землю	93,27	2,476			2,169	1,939
4	2	3-х фазное	516,201	0,477	0,633	0,633	0,383	0,37
5		2-х фазное	596,058	0,387			0,31	0,306
6		1 фазное на землю	602,235	0,383			0,305	0,301
7	3	3-х фазное	92,53	2,496	3,53	3,592	2,19	1,957
8		2-х фазное	106,845	2,161			1,933	1,73
9		1 фазное на землю	93,27	2,476			2,169	1,939
10	4	3-х фазное	516,201	0,477	0,633	0,633	0,383	0,37
11		2-х фазное	596,058	0,387			0,31	0,306
12		1 фазное на землю	602,235	0,383			0,305	0,301

7 Выбор оборудования

7.1 Выбор кабелей

Выбираем кабели из сшитого полиэтилена в оболочке, безгалогенные, бронированные, не распространяющие горение, с пониженным выделением дыма-производства NEXANS.

Прокладка кабелей предусматривается, в основном, по существующим трассам на кабеле несущих устройствах с проходами через стены и перекрытия в противопожарных модулях.

7.1.1 Выбор сечения жил кабеля по экономической плотности тока

Экономически целесообразно сечение S , мм², определяется из соотношения:

$$S = \frac{I_p}{J_{\text{эк}}}, \text{ где } J_{\text{эк}}=2,7 \text{ А/мм}^2\text{- нормированное значение экономической плотности}$$

тока, для кабелей в виниловой изоляции с медными жилами при числе часов использования максимума нагрузки в год более 5000.

Расчётный ток: $I_p=378 \text{ А}$.

$$S = \frac{378}{2,7} = 140 \text{ мм}^2$$

Принимаем к установке кабель ВВГнг 4х35.

7.1.2 Проверка силового кабеля на термическую стойкость и на невозгорание

Исходные данные:

Тип кабеля ВВГнг 4х35;

Длительно-допустимый ток 115А ;

Максимальная рабочая температура кабеля 70°C;

Температура кабеля при К.З. 250°C;

Ток нагрузки 40А;

Фактическая температура окружающей среды 38°С;

Способ прокладки в воздухе;

Поправочный коэф-т на $t^{\circ}\text{окр.ср.}$ 0,8 (взято из ПУЭ гл.1.3).

Проверка кабеля на допустимую температуру нагрева рабочим током.

Значение начальной температуры жилы до КЗ:

$$Q_U = Q_0 + (Q_{\text{до}} - Q_{\text{окр.}}) \cdot \left(\frac{I_{\text{раб}}}{I_{\text{до}}}\right)^2$$

где Q_0 – фактическая температура окружающей среды во время КЗ, °С и равна 38°С;

$Q_{\text{до}}$ – значение расчетной длительной температуры жилы, °С, равная для кабелей с виниловой изоляцией на напряжение до 1кВ– 70°С;

$Q_{\text{окр.}}$ – значение расчетной температуры окружающей среды (воздух) 25°С;

$I_{\text{раб.}}$ – значение тока нагрузки, составляет 40А;

$I_{\text{до}}$ – значение расчетного длительно допустимого тока, А.

Длительно допустимый ток с учетом поправочного коэффициента:

$$I_{\text{до}} = 0,8 \cdot 115 = 92 \text{ А}$$

Начальная температура нагрева до к.з.:

$$Q_U = 38 + (70 - 25) \cdot \left(\frac{40}{92}\right)^2 = 16 \text{ °С} < 70 \text{ °С}$$

По допустимой температуре нагрева рабочим током кабель проходит.

Проверка кабеля на возгорание:

Определение температуры нагрева жил кабеля током КЗ

Для определения температуры нагрева жил кабеля при действии тока КЗ используем номограмму. Номограмма построена на основании уравнения, выражающего зависимость температуры жилы непосредственно после КЗ от температуры жилы до КЗ, режима КЗ, конструктивных и теплофизических параметров жилы:

$$Q_K = Q_U \cdot e^{K} + a \cdot (e^K - 1)$$

где Q_K – температура жилы в конце КЗ;

Q_U – температура жилы до КЗ;

a – величина обратная температурному коэффициенту электрического сопротивления при 0°C , равная 228°C .

$$K = \frac{v \cdot B_{\text{тер.}}}{S^2}$$

где v – постоянная, характеризующая теплофизические характеристики материала жилы, равная для алюминия $45,65 \text{ мм}^4/(\text{кА}^2 \cdot \text{с})$ и для меди $19,58 \text{ мм}^4/(\text{кА}^2 \cdot \text{с})$;

$B_{\text{тер.}}$ – тепловой импульс от тока КЗ, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$ ($B_{\text{тер.}} = I_{\text{кз}}^2 \cdot t$, где $I_{\text{кз}}$ – ток КЗ, t – время действия тока КЗ);

S – сечение жилы, мм^2 .

Проверка кабеля на возгорание от тока КЗ. осуществляется при работе резервных защит.

Коэффициент, характеризующий взаимосвязь между тепловым импульсом, сечением жилы и теплофизическими характеристиками материала жилы:

$$\kappa = \frac{19,58 \cdot 2,30}{35^2} = 0,036$$

Тепловой импульс от тока КЗ:

$$W_{тер.} = I_{кз}^2 \cdot (t_{в.отк} + T_a)$$

$$W_{тер.} = 2,53^2 \cdot (0,07 + 0,02) = 0,58 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Конечная температура нагрева:

$$Q_K = 16 \cdot e^{0,036} + 228 \cdot (e^{0,036} - 1) = 236^\circ \text{C}$$

Значения расчетных температур токопроводящих жил кабелей при проверке на возгорание не должны превышать 400 0С.

По условиям невозгорания от тока К.З. кабель проходит. Кроме того, выбранный кабель проходит и по условиям пригодности к эксплуатации после действия тока КЗ, т.к. допустимая температура нагрева кабеля при определении пригодности к дальнейшей эксплуатации составляет 250⁰ С.

Расчётные данные сведены в таблицу 2.

Таблица 2-Данные кабелей

Наименование и техническая характеристика	Марка кабеля,провода	Количество
Провод медный, многопроволочный, сечением 16 мм ² , в желто-зеленой изоляции	ПВЗ 16,0	40
Провод медный, многопроволочный, сечением 6 мм ² , в желто-зеленой изоляции	ПВЗ 6,0	50
Провод медный, многопроволочный, сечением 1,5 мм ² , в коричневой изоляции	ПВЗ 1,5	50
Провод медный, многопроволочный, сечением 1,5 мм ² , в белой изоляции	ПВЗ 1,5	150
Провод медный, многопроволочный, сечением 2,5 мм ² , в коричневой изоляции	ПВЗ 2,5	50
Кабель медный, четырехжильный сечением жилы 35 мм ² в виниловой изоляции, негорючий	ВВГнг 4x35	100
Кабель медный, пятижильный сечением жилы 35 мм ² в виниловой изоляции, негорючий	ВВГнг 5x35	40
Кабель медный, пятижильный сечением жилы 2,5 мм ² в виниловой изоляции, негорючий	ВВГнг 5x2,5	150
Кабель медный, трехжильный сечением жилы 2,5 мм ² в виниловой изоляции, негорючий	ВВГнг 3x2,5	2500

7.2 Выбор автоматических выключателей

Выбор автоматического выключателя по параметрам короткого замыкания:

$$I = \frac{U}{R_K}$$

где U –напряжение сети (220/380 В);

R – полное сопротивление петли фаза-ноль;

k– поправочный коэффициент для автоматических выключателей характеристики В: k = 5; характеристики С: k=10, характеристики D: k = 50.

$$I = \frac{380}{24} = 15,8 \text{ А}$$

Выбираем выключатель С60N 3п 16А С.

Аналогично проводим расчет для остальных автоматов.

Расчетные данные сведены в таблицу 3.

Таблица 3- Оборудование

Наименование и техническая характеристика	Завод-изготовитель	Количество
Основная рама, Ш=650+150 мм, Г=600 мм	Merlin Gerin	1
Сплошная верхняя панель, IP30, Ш=800 мм, Г=600 мм	Merlin Gerin	1
2 боковые панели, IP30, Ш=600 мм	Merlin Gerin	1
Поворотная рама передней панели, Ш=650 мм	Merlin Gerin	2
2 лонжерона, Ш=650 мм	Merlin Gerin	1
2 перекладины, Ш=400 мм, для Г=400 мм	Merlin Gerin	1
Цоколь высотой 100 мм, Ш=800 мм, Г=600 мм	Merlin Gerin	1
2 боковые панели цоколя, Г=600 мм	Merlin Gerin	1

20 винтов+ барашковые гайки	Merlin Gerin	2
Монтаж. рейка	Merlin Gerin	7
Перфорированная плата, 12 модулей	Merlin Gerin	3
Адаптер для серии G, Ш=500 мм(рама)	Merlin Gerin	4
Непрзр-я передняя панель, 4 модуля	Merlin Gerin	13
Передняя панель с вырезом, 4 модуля	Merlin Gerin	5
Перфорированная шина PE, 25x5 мм	Merlin Gerin	1
2 держателя horiz. шин PE	Merlin Gerin	1
Шинка PE распределительная	Merlin Gerin	2
Шинка N распределительная	Merlin Gerin	2
Держатели шинок N и PE распределительных	Merlin Gerin	4
Силовая шина POVERCLIP 4P, 125 А, 750 мм	Merlin Gerin	1
Ответвительные клеммы для шины POVERCLIP	Merlin Gerin	3
Распред. блок MULTICLIP, 200 А полной длины, 3 пол.	Merlin Gerin	4
Комплект подключения MULTICLIP к POVERCLIP	Merlin Gerin	4
Авт. выкл. NG125N 3п 100А С	Merlin Gerin	3
Авт. выкл. NG125N 3п 125А С	Merlin Gerin	3
Доп. контакт к авт. выкл. NG125N OF+SD	Merlin Gerin	3
Панель-заглушка, Ш=1000 мм	Merlin Gerin	1
Авт. выкл. С60N 3п 16А С	Merlin Gerin	3
Авт. выкл. С60N 1п 6А С	Merlin Gerin	20
Авт. выкл. С60N 1п 10А С	Merlin Gerin	15
Авт. выкл. С60N 1п 16А С	Merlin Gerin	8
Авт. выкл. С60N 1п 25А С	Merlin Gerin	3

Доп. контакт к авт. выкл. C60N OF	Merlin Gerin	47
Доп. контакт к авт. выкл. C60N SD	Merlin Gerin	47
Розетка на DIN рейку	Merlin Gerin	2
Миниатюрное реле 4 перекидн. конт. 230 В перем. тока	TELEMECANIQUE	2
Металлическая скоба-держатель	TELEMECANIQUE	2
Колодка с отдельными конт.	TELEMECANIQUE	2
Лампа индикаторная LED(зеленая)	TELEMECANIQUE	3
Реле контроля напряжения 3-фазное 380/500В	TELEMECANIQUE	3
Резисторная цепь 110-240В	TELEMECANIQUE	2
Переключатель 2 поз. 2 НО	TELEMECANIQUE	2
Контакт НО	TELEMECANIQUE	4
Индикатор 230 V зеленый (LED)	ИЭК	4
Система освещения щита	Merlin Gerin	1
Переносной светильник	Merlin Gerin	1

7.3 Выбор шкафа АВР системы гарантированного питания

В шкафу будут смонтированы:

-собственные шины РЕ и N;

-2 вводных автоматических выключателя серии NG125N с тепловой уставкой 100А, магнитным расцепителем 5-7In и с максимально допустимым ударным током короткого замыкания до 25кА;

-специализированный контактор LC2-D80004 125А для автоматического ввода резерва с взаимной механической блокировкой;

-трехфазные реле контроля напряжения RM-4TR32 - для определения наличия и качества вводного напряжения АВР;

-объединенные в одну секцию автоматические трехфазные выключатели С60N, на номинальный ток 32, 25 и 16А, с максимально допустимым током КЗ 10кА распределительной сети АБП.

Селектор выбора режима работы имеет 3 положения: Только от Ввода 1, только от Ввода 2, «Авто» - по выбору автоматики. При наличии напряжений на обоих вводах, напряжение подается с Ввода 1. Режим работы АВР индицируется световыми индикаторами на передней панели шкафа.

Питание на шкаф АВР в старом помещении ППУ-220кВ подается:

- Ввод 1: ЩСН нового помещения ППУ-220кВ, с проектируемого автоматического выключателя: 1-я секция, «СГП Ввод 1», Тип кабеля ВВГнг 4х35, длина кабеля 80м;

- Ввод 2: ЩСН нового помещения ППУ-220кВ, с проектируемого автоматического выключателя: 2-я секция, «СГП Ввод 2», Тип кабеля ВВГнг 4х35, длина кабеля 80м;

Шина защитного заземления Шкафа АВР присоединяется к действующей шине заземления помещения ППУ-220кВ, проводом ПВ-3 16, длина 10м.

Питающие кабели прокладываются по существующим кабельным полкам подпультного помещения. Подключение кабелей электропитания к электроустановкам осуществляется в соответствии с чертежом, представленным на рисунке 5.

План расположения электроустановок и схема прокладки кабеля приведены на рисунке 6.

К Секции СГП подключаются как потребители, оборудованные единственным блоком питания, так и снабженные двумя, взаимно резервирующими источниками питания. Каждый блок питания потребителя подключается через отдельный автоматический выключатель, отдельным кабелем.

Все автоматические выключатели снабжены двумя дополнительными блок-контактами: состояния и аварийного отключения. Блок - контакт

состояния сигнализирует о текущем состоянии автоматического выключателя, а аварийный - было ли отключение автомата аварийным.

Контакты АВР снабжены дополнительными блок - контактами состояния, показывающими, включен контактор или выключен.

В составе АВР функционируют реле контроля напряжения RM4-TR32, с контактами, показывающими наличие и качество рабочего напряжения на вводе.

Все описанные дополнительные блок-контакты заведены на контроллер САУ СГП, который расположен в нижней части шкафа.

Агрегат бесперебойного питания UPS Power Line RMT TL включен в САУ СГП при помощи модуля SNMP Adapter CS121 по протоколу SNMP через сеть Ethernet.

Расчет сечения питающих кабелей произведен на минимальное сечение, с учетом развития и обеспечения минимально-допустимого напряжения на зажимах аппаратуры, исходя из габаритной мощности источников питания проектируемого и действующего оборудования с учетом коэффициента использования.

Для безопасной эксплуатации проектируемого оборудования, настоящим проектом предусмотрено:

- подключение кабелей электропитания к существующей аспредельительной сети через индивидуальные автоматические выключатели;
- использование проводников и кабелей не поддерживающих горение;
- защита питающей проводки от перегрузки автоматическими выключателями;
- применение оборудования класса защиты не ниже IP2;
- прокладка питающих кабелей по ПУЭ изд.7;
- соединение корпусов оборудования с контуром защитного заземления.

Дополнительно для безопасной эксплуатации предусматриваются (по отдельному титулу):

- диэлектрические коврики перед, и, при необходимости, за распределительными шкафами и стойками.

Для обеспечения пожарной безопасности предусмотрено:

- автоматическая защита питающих линий от перегрузок с помощью автоматических выключателей;

- проводка и кабели с негорючей изоляцией и оболочкой,

- прокладка питающих кабелей по нормам ПУЭ изд.7.

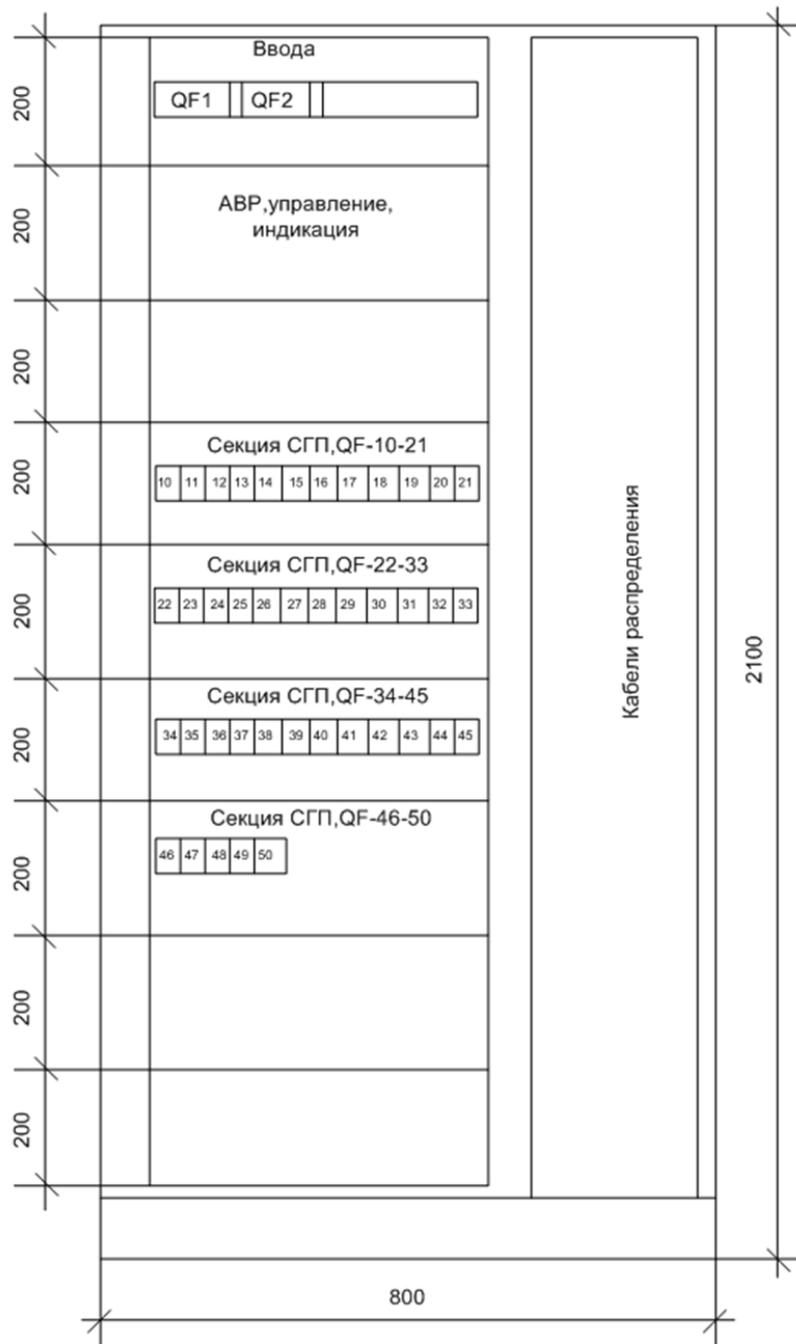


Рисунок 5- Шкаф АВР

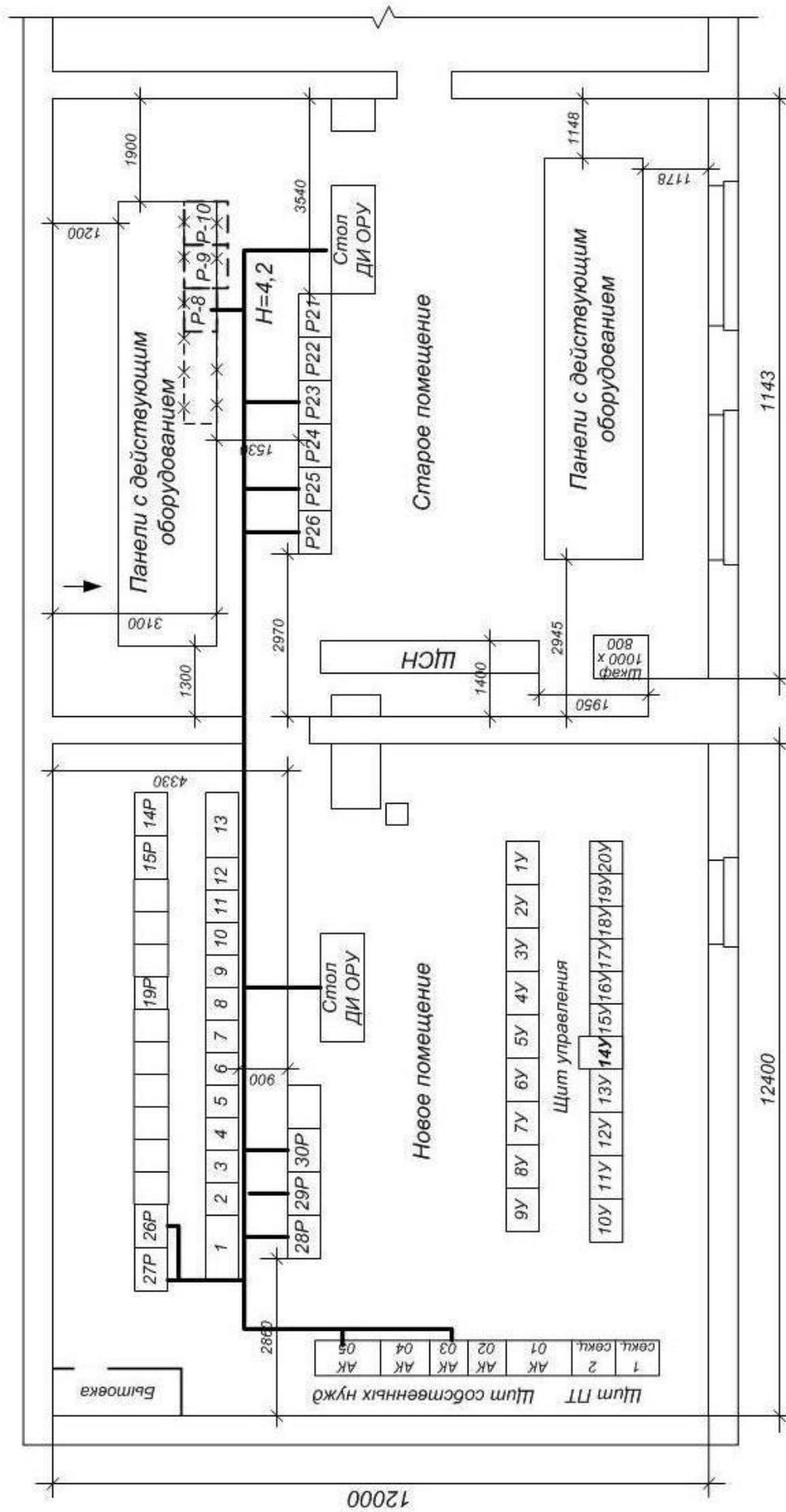


Рисунок 6 – План расположения электроустановок и схема прокладки кабеля

8 Система автоматического управления схем гарантированного питания

8.1 Цели, назначение и области использования системы

Основанием для создания системы является:

- Анализ технологических отказов.
- Анализ существующих схем электропитания устройств АСУ ТП.
- Фактическое состояние оборудования электропитания устройств АСУ ТП.
- «Руководящие указания по проектированию электропитания технических средств диспетчерского и технологического управления» «ЭНЕРГОСЕТЬ ПРОЕКТ» 1987.
- ПТЭ электростанций и сетей Российской Федерации, раздел 6.11. «Средства диспетчерского и технологического управления»
- Программа технического перевооружения и реконструкции Жигулевской ГЭС.

8.2 Сведения о НИР

При создании системы был использован передовой опыт создания автоматизированных систем для предприятий электроэнергетики. Технические решения по топологии сетей передачи данных, по выбору оборудования и программных средств соответствуют эксплуатационным и организационным условиям предприятия, а так же корпоративным стандартам. При разработке исследованы и решены вопросы интеграции системы в единую САУ предприятия.

8.3 Описание процесса деятельности

8.3.1 Краткие сведения об объекте автоматизации

«Жигулёвская ГЭС» - электростанция федерального значения, являющаяся неотъемлемой частью единой энергетической системы России.

На предприятии проводится планомерная модернизация и техническое перевооружение. При этом происходит замена существующих Систем Управления (СУ) на современные, что поднимает на новый уровень качество эксплуатации. Реализовываются новые функции: предупреждение отказов, анализ временных тенденций, прогнозирование ремонтов. На новый уровень достоверности и потребительских свойств переходит функция мониторинга и регистрации аварийных событий.

Современные системы управления технологическим процессом генерации, преобразования и распределения электроэнергии, как правило, базируются на микропроцессорном оборудовании, требующем бесперебойного питания высокого качества.

Для обеспечения потребителей непрерывным напряжением 0,4 кВ переменного тока высокого качества, создается СГП АСУТП.

СГП АСУ ТП проектируется для всех производственных помещений, в которых присутствует оборудование АСУ ТП, системы безопасности, системы Диспетчерско-Технологической связи.

СГП АСУ ТП обеспечивает высокое качество выходного напряжения, как по величине, так и по уровню помех, что необходимо для питания средств вычислительной техники и микропроцессорных устройств. СГП обеспечивает автономное питание потребителей при отсутствии входного напряжения 30-ти минут более, в зависимости от нагрузки на данном присоединении и полноты заряда встроенных батарей.

САУ СГП АСУ ТП разрабатывается, как часть СГП и предназначена для выполнения автоматических и автоматизированных функций. САУ СГП АСУ ТП является распределенной и размещается в следующих производственных помещениях:

- ППУ-220;
- ППУ-110;
- ППУ-500;
- Машинный, Зал РУ генераторов, ТБ;
- ЦПУ;
- Аппаратная НСГЭС;
- ЛАЗ АСДТУ;
- ОПУ-500;

Система обеспечивает выполнение следующих функций:

- сбор дискретных параметров;
- сбор аналоговых параметров;
- сбор информации о режимах работы агрегатов бесперебойного питания;
- сбор информации о несанкционированном доступе;
- предоставление данных оперативному персоналу и специалистам;
- автоматическое и автоматизированное управления системой гарантированного питания АСУ ТП в штатных и аварийных режимах;
- формирование предупредительной и аварийной сигнализации;
- архивирование данных о технологическом процессе.

Система обеспечивает следующие потребительские свойства:

- Полный контроль состояния СГП АСУ ТП;
- Контроль действий оперативного и обслуживающего персонала;
- Формирование упреждающих воздействий;
- Прогнозирование отказов;
- Минимизацию эксплуатационных расходов.

8.3.2 Структура программного обеспечения

Программное обеспечение (ПО) САУ СГП состоит из следующих функциональных компонентов:

- базовое (системное) программное обеспечение, включающее операционную систему, сервисные программы, а также базовое сетевое программное обеспечение, позволяющее функционировать программным пакетам САУ СГП в составе технологической вычислительной сети (ТВС) объекта;
- программное обеспечение систем управления базами данных (СУБД) типа Oracle, обеспечивающее формирование базы данных, управление файлами и их поиск, поддержку запросов, имеющее средства поддержки приложений, обеспечивающее ввод и поддержание целостности данных, а также формирование отчетов и вывод на печатающее устройство

ПО САУ СГП состоит из следующих частей:

1. Windows 2000/2003 Server Russian
2. Windows XP professional
3. Программный пакет для программирования контроллеров фирмы Siemens - STEP7 v5.4
4. SCADA система WinCC v6.0
5. OPC сервер фирмы Fastwel – UniOPC v 2.62
6. База данных Oracle v9.0
7. Просмотр архивов параметров

Состав используемого ПО зависит от характера объекта, уровня иерархии САУ СГП и применяемого набора вычислительных средств.

8.3.2.1. Функции частей программного обеспечения

Для программирования и отладки оборудования узлов СГП (контроллеров) в системе применяется ПО Simatic STEP 7. Базовое программное обеспечение STEP 7 обеспечивает полный комплект инструментальных средств, необходимых для разработки проекта:

- SIMATIC Manager: для быстрого обзора и управления всеми данными проекта, с удобным обзором и запуском всех инструментальных средств, обеспечения доступа ко всем системам SIMATIC S7, SIMATIC C7 и SIMATIC WinAC.
- Symbol Editor (редактор символов): для определения символьных имен переменных, типов данных и ввода комментариев.
- Hardware Configuration (конфигуратор аппаратуры): для конфигурирования системы и установки параметров настройки модулей.
- Communication (коммуникации): для организации связи между системами управления через MPI интерфейс, сети PROFIBUS и Industrial Ethernet. Сеансы связи могут осуществляться циклически, с запуском по времени или по прерываниям.
- Информационные функции: для быстрого обзора данных центрального процессора и хода выполнения программы пользователя, а также анализа причин возникновения ошибок.

Для написания программ STEP 7 позволяет использовать следующие стандартные языки:

- Список инструкций (Statement List - STL).
- Диаграммы лестничной логики (Ladder Diagram - LAD).
- Язык функциональных блоков (Function Block Control - FBD).

Более того, для решения специальных задач могут быть использованы дополнительные языки программирования высокого уровня и технологически ориентированные языки.

В SCADA систему WinCC включены функции HMI (человеко-машинный интерфейс):

- администрирование пользователей
- права доступа
- графическая система
- система сообщений
- система архивации
- система отчетов
- система протоколирования
- диагностика

WinCC является составной частью концепции полностью интегрированной автоматизации (Totally Integrated Automation, TIA): повышает производительность, минимизирует издержки на инжиниринг, снижает затраты жизненного цикла

Для интеграции АБП в систему, применяется программа «OPC сервер фирмы Fastwel – UniOPC». Программа предназначена для обеспечения быстрой разработки OPC-серверов различных устройств, в том числе нестандартных. Universal OPC-сервер функционирует в паре с динамической библиотекой (DLL). Эта DLL (далее DLL доступа к данным) содержит ту часть кода программы, которая специфична для опроса АБП по протоколу SNMP, то есть осуществляет считывание и запись данных, а также периодическое обновление массивов значений переменных (тегов), видимых OPC-серверу. OPC-сервер обеспечивает "публикацию" этих тегов, открывая их для доступа со стороны OPC-клиентов (SCADA-систем).

Функциональные возможности программы:

- Поддержка признака достоверности сигналов, передаваемого клиентам OPC.
- Автоматическая генерация тегов для устройства по информации, предоставляемой DLL доступа к данным.
- Поддержка OPC Data Access Automation Interface.
- Поддержка интерфейса просмотра пространства имен IOPCBrowseServerAddressSpace и иерархической структуры адресного пространства сервера.

Для хранения информации применяется база данных Oracle v9.0. Краткие характеристики:

СУБД Oracle обеспечивает 100% совместимость со стандартами и поддерживает технологию J2EE, Web-кэширование, обеспечивает широкую поддержку Web-сервисов, содержит полнофункциональные средства интеграции, встроенные порталные решения, инструменты бизнес-анализа, механизмы поддержки электронной почты, беспроводных технологий и других возможностей. Сервер приложений Oracle обеспечивает поддержку программного обеспечения от ведущих независимых разработчиков, может работать со всеми основными операционными системами и аппаратными средствами, позволяя сократить расходы на аппаратную часть.

СУБД Oracle включает в себя:

- Преднастроенный портал и WYSIWYG редактор для создания страниц и контентного наполнения;
- Преднастроенные роли доступа, пользователи приложений и мастера для создания объектов и элементов приложений;
- Web Management Console для упрощенного администрирования;
- Сервер J2EE и инструментарий разработки.

ПО «Просмотр архивов параметров», предназначена для отображения значений параметров, получаемых из различных источников данных, в виде графиков и таблиц. Приложение позволяет:

- Просматривать значения параметров за произвольный период времени в виде графиков и таблиц.
- Настраивать параметры отображения каждого параметра.
- Выбирать дискретизацию значений отображаемых параметров.
- Выбирать режим отображения (автоматическая прокрутка изображения, просмотр за некоторый промежуток времени).
- Выводить данные на печатающее устройство в табличном и графическом формате.
- Экспортировать значения параметров в файлы формата Excel.

8.4 Основные технические решения

8.4.1 Решения по структуре системы, средствам и способам связи для информационного обмена между компонентами системы

Система состоит из трех функциональных уровней:

- Нижний уровень: уровень датчиков, контроллеров, АБП, АВР, первичная обработка, автоматическое управление, информационная сеть промышленного исполнения;

- Уровень серверов: связь с контроллерами, архивирование, вторичная обработка информации, ведение журналов событий, обеспечение доступа со стороны АРМов;

- Уровень АРМов, визуализация, автоматизированное управление, формирование отчетов, просмотр архивов.

Структурная схема системы приведена на рисунке 8.

Проектируемая система является распределенной. При этом каждый узел СГП имеет вводное коммутационное оборудование, АВР, распределительное коммутационное оборудование и АБП для активных узлов.

8.4.2 Сбор и первичная обработка дискретных сигналов

Каждый коммутационный аппарат СГП имеет дополнительные блок контакты «Состояние» и «Авария». Блок контакты «Состояние» используются для формирования входных дискретных сигналов и позволяют идентифицировать положение «ВКЛ/ОТКЛ» коммутационного аппарата. Блок контакты «Авария» используются для формирования дискретных сигналов и позволяют идентифицировать аварийное срабатывание защит коммутационного аппарата. Дискретные сигналы собираются контроллером, установленным в каждом узле СГП. Число используемых модулей дискретного ввода в каждом узле СГП варьируется, в зависимости от количества коммутационного оборудования.

Используемая схема подключения позволяет идентифицировать неопределенное состояние блок контактов, что соответственно, отражается на

мнемосхемах и в системе сообщений. Система обеспечивает достоверность информации о дискретных значениях по следующим критериям:

- наличие информационной связи с контроллером;
- логический анализ состояния оборудования.

По результатам контроля достоверности формируется признак достоверности по каждому сигналу. Недостоверность сигнала фиксируется и квалифицируется как событие. Предусмотрена возможность оперативного вывода из работы сигналов от неисправных датчиков.

Наряду с дискретными сигналами типа «сухой контакт», система осуществляет сбор дискретных сигналов с внутренних коммутационных аппаратов АБП и АВР по SNMP протоколу. Период измерения дискретных сигналов не более 1с. Каждое измерение имеет метку времени, полученную от системы единого времени.

8.4.3 Сбор и первичная обработка аналоговых сигналов

Сбор текущих аналоговых сигналов производится со следующими параметрами:

- Период измерения не более 1с.
- Точность измерения не хуже 2%.

Каждое измерение, кроме величины параметра имеет метку времени, полученную от системы единого времени.

По результатам контроля достоверности формируется признак достоверности по каждому сигналу. Недостоверность сигналов фиксируется и квалифицируется как событие. Предусмотрена возможность оперативного вывода из работы сигналов от неисправных датчиков. В системе реализована процедура квитирования.

Контроль отклонения аналоговых сигналов за уставки выполняется для достоверных сигналов циклически с периодом измерения аналоговых сигналов. Для каждого сигнала предусматривается возможность задания до четырех уставок:

- предупредительная нижнего уровня

- предупредительная верхнего уровня
- аварийная нижнего уровня
- аварийная верхнего уровня

Значения аналоговых параметров, для которых существуют уставки, контролируются на выход их за установленные пределы и возвращение к норме.

Все АБП и активные АВР имеют интерфейс контроля и управления по протоколу SNMP и поддерживают стандартные для данного типа оборудования запросы. Посредством запросов, система получает основные параметры текущего режима:

- уровень входного напряжения,
- уровень входного тока,
- уровень заряда батарей,
- прогнозируемое время автономной работы,
- уровень выходного напряжения,
- уровень выходного тока,
- состояние внутреннего коммутационного оборудования.

8.4.4 Решения по уровню контроллеров

В системе применены контроллеры Siemens S7-300. Данные контроллеры позволяют строить легко масштабируемые системы, дополняемые необходимыми модулями ввода-вывода. Более подробная информация о применяемых контроллерах и модулях ввода-вывода приведена в документе «Описание технических средств».

8.4.5 Решения по организации сети нижнего уровня

Для организации сети передачи данных применяются модули связи, поддерживающие Industrial Ethernet, что позволяет использовать существующую Технологическую Вычислительную Сеть (ТВС). В местах расположения узлов СГП не имеющих точек подключения к ТВС, предусмотрено соответствующее расширение. При разработке расширения ТВС максимально использовалась существующая Мульти-сервисная Волоконная Оптическая Сеть (МВОС).

8.4.6 Решения по серверу SCADA

Сервер SCADA предназначен для обеспечения информационного обмена с оборудованием нижнего уровня, для вторичной обработки и для представления информации о текущем режиме на АРМы оперативного и обслуживающего персонала. Сервер соответствует корпоративному стандарту и имеет стоечное исполнение. Дополнительно к SCADA, на сервере функционирует программное обеспечение экспорта текущих параметров в сервер БД, выполненного на СУБД Oracle.

8.4.7 Решения по организации архивирования

В системе архивируются значения аналоговых и дискретных сигналов, события подсистемы диагностики, события автоматического управления, события сервисной подсистемы, события управления и квитирования с участием персонала. Глубина архива зависит от его подробности:

- Данные с дискретностью 1сек хранятся в течение 5-ти суток;
- Данные с дискретностью 5сек хранятся в течение 25-ти суток;
- Данные с дискретностью 1мин хранятся в течение 200 суток;

Данные архива с дискретностью 5сек формируются из архива с дискретностью 1сек, путем выборки мгновенных значений в соответствующий момент времени.

Данные архива с дискретностью 1мин формируются из архива с дискретностью 1сек, путем выборки мгновенных значений в соответствующий момент времени.

В системе реализована функция резервного копирования архивов по заданию с заданной дискретностью и за заданный интервал времени на внешние накопители для последующего хранения и анализа. Данная функция реализована в приложении «Просмотр архивов».

Архивные данные хранятся на выделенном сервере, работающем под управлением СУБД ORACLE. Сервер соответствует корпоративному стандарту, имеет стоечное исполнение и резервирован в части накопителей на жестких дисках и блоков питания.

8.4.8 Решения по организации АРМ оперативного персонала

АРМ оперативного персонала устанавливается в ЛАЗе цеха АСДТУ. Для информационного обмена между сервером SCADA и АРМом, используется OPC протокол, SCADA и сеть Ethernet.

Отображение информации для оперативного персонала производится на цветных видеотерминалах в виде фрагментов мнемосхем, гистограмм, графиков, таблиц и текстовых сообщений.

Отображение на фрагментах мнемосхем является вызывным и, заключается в вызове на экран фрагмента из библиотеки.

Информация представлена по принципу от общего к частному. Основной объем информации, позволяющий оценить ситуацию в целом, содержится на общих фрагментах мнемосхем. В случае отклонения любых параметров от нормальных значений или изменения состояния внимание персонала привлекается цветом и миганием. При этом персонал имеет возможность вызвать более детальный фрагмент.

Для каждого фрагмента обязательным являются:

- название фрагмента;
- признаки обновления аналоговой и дискретной информации;
- текущее технологическое время.

На рабочих местах оперативного персонала реализована технологическая сигнализация, предназначенная для информирования о возникновении нарушений в протекании технологического процесса, изменений в составе работающего оборудования и обнаруженных неисправностях.

Технологическая сигнализация предусматривает:

- предупредительную сигнализацию об отклонении за установленные пределы технологических параметров и изменении состояния устройств;
- аварийную сигнализацию при аварийных отклонениях параметров, срабатывании защит;

- сигнализацию о действии блокировок, АВР и источников электропитания;

При появлении каждого нового сигнала, форма его представления и выделения среди существующих сигналов, реализуется принцип приема оператором и индикация исчезновения.

Любой вид сигнализации должен вызывать включение соответствующего светового сигнала на экранах мониторов (появление изображения нужного цвета и вида), а появление каждого нового сигнала, сопровождается включением звукового сигнала.

Каждый вновь появившийся световой сигнал отличается от уже действующих прерывистым свечением (миганием) с частотой около 1 Гц, а после приема его оператором и подачи команды кнопкой "съём мигания" имеет ровное свечение.

Для групповых световых сигналов обеспечена повторность их действия. Появление каждой новой причины включения данного группового сигнала сопровождается его повторным миганием.

Гашение световых сигналов происходит при исчезновении всех причин, вызывающих их включение и после квитирования.

8.4.9 Решения по организации АРМов специалистов

В качестве АРМов специалистов используются существующие компьютеры на основных рабочих местах. Для информационного обмена между сервером SCADA и АРМ, используется OPC протокол, SCADA и сеть Ethernet.

Реализация функции отображения информации для обслуживающего персонала осуществляется аналогично, как и для оперативного персонала, за исключением возможности квитирования.

8.4.10 Решения по сбору и первичной обработке информации, вводимой вручную с клавиатуры и операторских панелей

Сбор и первичная обработка информации, вводимой вручную с клавиатуры, производится после авторизации оператора и в рамках

установленных полномочий. При этом в системе фиксируется время начала и время окончания сеанса.

8.4.11 Решения по технической диагностике

Техническая диагностика предназначена для:

- оценки эксплуатационного состояния оборудования;
- выдачи персоналу рекомендаций как в штатном режиме, так и при отклонении контролируемых параметров от заданных значений;
- запрещения неправильных действий персонала.

При решении задач технической диагностики контролируется:

- граничные условия;
- скорость изменения измеряемых величин;
- логические состояния контролируемого оборудования.

Решения, принимаемые подсистемой «Техническая диагностика», базируются на данных имеющих признак достоверности и имеют статус событий.

Период проверки состояния оборудования не более 5с.

В системе реализована подфункция самодиагностики: полный контроль состояния оборудования, информационных связей.

8.4.12 Решения по регистрации аварийных событий

Анализ аварийных событий обеспечивается на основе собранных аналоговых и дискретных сигналов с периодами и точностью, соответствующими штатному режиму и заключается в анализе полученных данных.

8.4.13 Решения по протоколированию информации

В системе имеется возможность реализации функции протоколирования. Данная функция должна реализоваться отдельным приложением, использующим архивные данные. Функция протоколирования может быть реализована в приложении «Просмотр архива».

8.4.14 Решения по синхронизации с системой единого времени

Синхронизация системы осуществляется от базовой системы единого времени предприятия. Синхронизация осуществляется на уровне сервера SCADA с оптимальной периодичностью.

8.4.15 Решения по формированию отчетной документации

Отчеты формируются приложениями, работающими с СУБД Oracle на основе архивных данных. Отчеты формируются на АРМах специалистов, при этом:

- отчеты формируются требованию;
- формируются отчеты о состоянии оборудования;
- формируются отчеты о нарушениях технологических режимов;
- отчеты формализованы в утвержденных бланках.

Отчеты формируются приложениями, работающими с СУБД Oracle на основе архивных данных. Отчеты формируются на АРМах специалистов, при этом:

- отчеты формируются требованию;
- формируются отчеты о состоянии оборудования;
- формируются отчеты о нарушениях технологических режимов;
- отчеты формализованы в утвержденных бланках.

8.4.16 Решения по защите от несанкционированного доступа

Для защиты от несанкционированного доступа к оборудованию СГП, все монтажные шкафы оснащены датчиками отрывания дверей, сигналы от которых обрабатываются системой.

Информационная безопасность от вмешательства по сети Ethernet обеспечивается использованием ТВС. Подробную информацию об обеспечении безопасности можно получить в соответствующем техническом проекте.

Защита серверного оборудования обеспечивается постоянным присутствием оперативного персонала в ЛАЗе АСДТУ, системой паролей на доступ.

8.4.17 Решения по взаимосвязи системы со смежными системами, обеспечение ее совместимости

Информационный обмен со смежными системами осуществляется:

- оперативными данными на уровне сервера SCADA по OPC - протоколу, который является стандартным для обмена между различными независимыми, но стандартизованными системами;
- архивными данными на уровне сервера архивирования, посредством SQL запросов.

8.4.18 Решения по функционированию системы, диагностированию работы системы

Система предназначена для функционирования в круглосуточном режиме при периодическом контроле работоспособности посредством мониторинга состояния на АРМе оперативного персонала.

Система обладает достаточными свойствами самодиагностики на всех уровнях, с развитой системой сообщений. В системе формируются, архивируются и предоставляются все события, связанные с режимом работы и действиями персонала.

Программно-аппаратные средства контроля работоспособности и диагностирования неисправностей обеспечивают решение следующих задач:

- проверку работоспособности и обнаружение отказов;
- проверку достоверности сигналов и значений;
- формирования сигнализации о возникновении отказов и результатах проверок работоспособности.

8.5 Обеспечение характеристик

Характеристики системы полностью соответствуют требованиям, изложенным в задании руководителя на проектирование.

8.5.1 Состав функций, комплексов задач реализуемых системой

Система обеспечивает выполнение следующих групп функций:

- информационные;
- управляющие;
- сервисные.

8.5.2 Информационные функции

Система обеспечивает информационные функции в составе и объеме, достаточном для однозначного понимания состояния контролируемого оборудования:

- сбор и обработка дискретных сигналов,
- сбор и обработка аналоговых сигналов,
- сбор и обработка информации, вводимой вручную с клавиатуры и операторских панелей,
- техническая диагностика,
- регистрация аварийных событий,
- архивация,
- протоколирование информации,
- отображение информации для оперативного персонала,
- отображение информации для обслуживающего персонала,
- синхронизация с системой единого времени,
- формирование отчетной документации системы,

8.5.3 Управляющие функции

Система обеспечивает следующие управляющие функции:

- автоматизированное переключение АВР на работу от указанного ввода;

- проведение тестирования аккумуляторных батарей АБП;
- проведение цикла тренировки аккумуляторных батарей АБП;
- дистанционное включение/отключение АБП;
- автоматизированное отключение АБП.

8.5.4 Сервисные функции

Система обеспечивает следующие сервисные функции:

- настройка настраиваемых параметров;
- настройка величин пороговых значений для предупредительной и аварийной сигнализации;
- перевод функциональных узлов СГП в режим «сервис»;
- перевод функциональных узлов СГП в режим «работа».

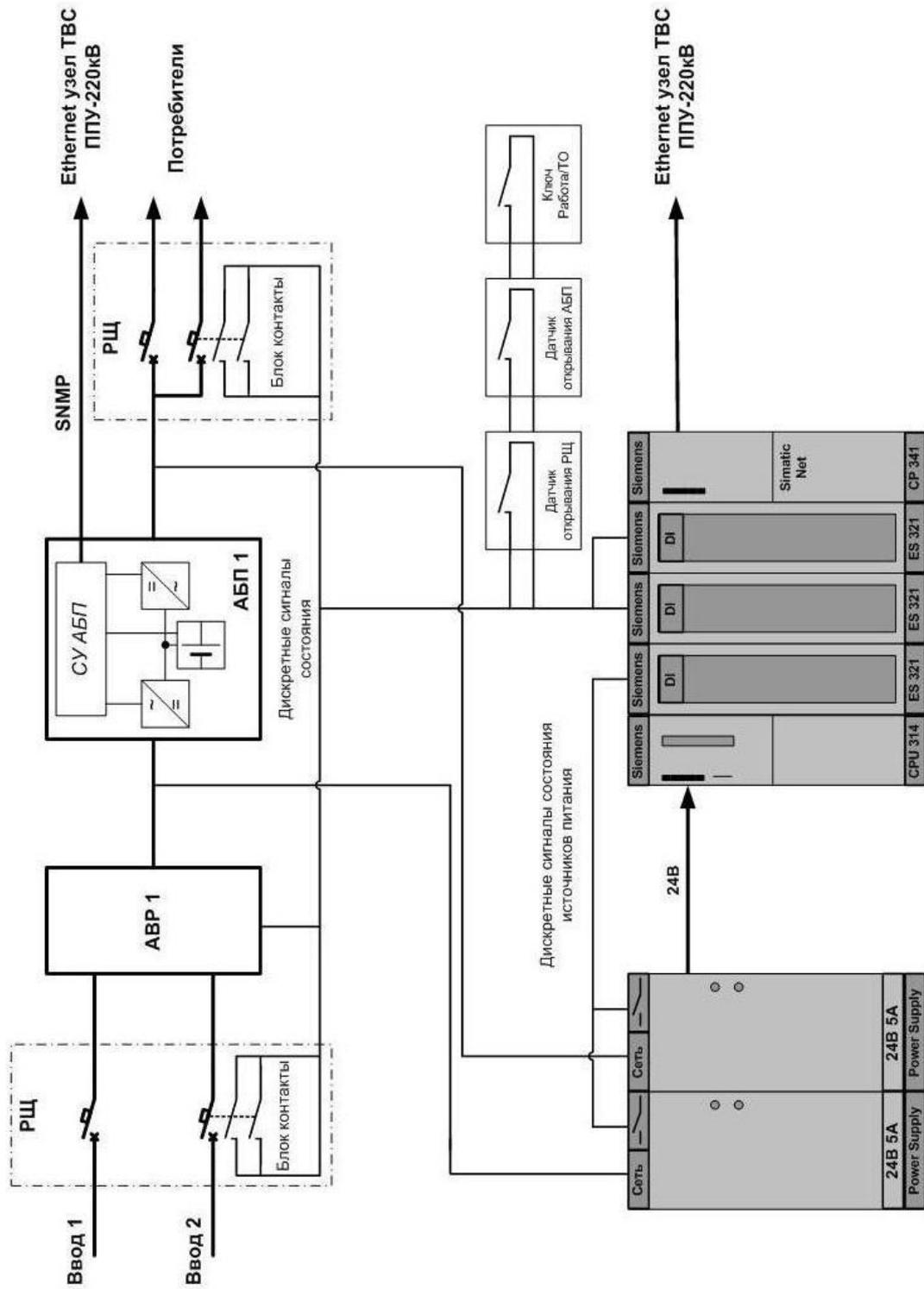


Рисунок 7 – САУ СГП ППУ-220

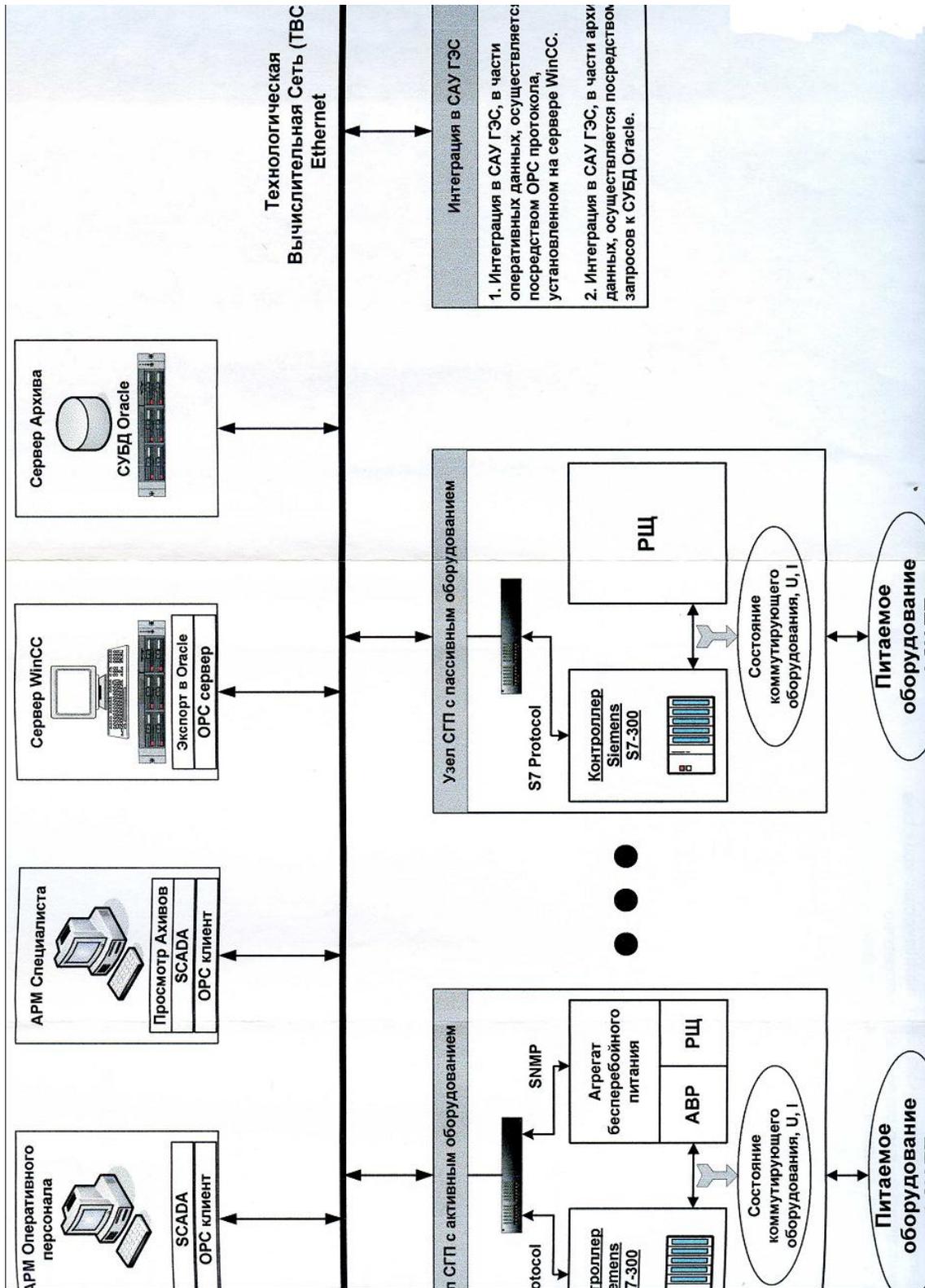


Рисунок 8 – Структурная схема САУ СТП общая

Заключение

В результате проделанной работы были определены следующие параметры электроснабжения:

- произведен расчет короткого замыкания сети питания ИБП в ППУ-220 с питанием от трансформаторов 9ТС и 10 ТС;
- выбраны кабели;
- выбраны автоматы;
- монтаж распределительного шкафа 0,4кВ с АВР на месте панели Р-8;
- установлен агрегат бесперебойного питания UPS Power Line RMT TL;
- рассмотрена САУ СГП.

Предложенная схема электроснабжения отвечает требованиям безопасности и надежности.

Список использованных источников

1 Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. с изм. И доп. – М.:Госэнергонадзор, 2007.

2 Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ. Москва, «Издательство НЦ ЭНАС», 2003 г.

3 Вахнина, В.В. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учеб. -метод. пособие для практических занятий и курсового проектирования / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко. – Тольятти: ТГУ, 2007.– 54 с.

4 Вахнина, В.В. Проектирование осветительных установок: Учеб. Пособие./ В.В. Вахнина, О.В. Самолина, А.Н. Черненко. - Тольятти: ТГУ, 2008. С.90.

5 Романов, А. А. Жигулевская ГЭС. Эксплуатация средств релейной защиты и автоматизированного управления. Книга 4: техническое издание / А. А. Романов. – Самара : Гидроэнергетика России, 2013, . – 448 с.

6 Лыкин, А.В. Электрические системы и сети / А.В. Лыкин – М.: Логос, 2006.

7 Макаров, Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150 кВ: в 6-ти т.../ Е.Ф. Макаров, И.Т. Горюнова – М.: Папирус Про, 2004.

8 Сенько, В.В. Электромагнитные переходные процессы в системах электроснабжения. Учебно-методическое пособие к выполнению курсовой работы. Тольятти, ТолГУ, 2007, 60 с.

9 Веников, В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. - М: Энергия, 1970, - 415 с.

10 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования / под редакцией Б.Н. Неклепаева. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2006.

11 Справочник по проектированию электроснабжения / под редакцией В.И. Круповича, Ю.Г. Барыбина, М.Л. Самовера – М.: Энергия, 1980.

- 12 Справочник по электрическим сетям 0,4-35кВ и 110-1150кВ. 4-6 тома/ пол редакцией И.Т. Горюнова, А.А. Любимова – М.: ПАПИРУС ПРО, 2006.
- 13 Герасимов, В.Г. Производство, передача и распределение электрической энергии / Электротехнический справочник / В.Г. Герасимов – М.: Изд-во МЭИ, 2002.
- 14 Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи : учеб. для вузов / Л. А. Бессонов. - Изд. 11-е, испр. и доп.; Гриф МО. - М.: Гардарики, 2006. - 701 с.
- 15 Белоруссов, Н.И. Электрические кабели, провода и шнуры: Справочник / Н.И. Белоруссов, А.Е. Саакян, А.И. Яковлева. - М.: Энергоатомиздат, 1988.
- 16 Производство и передача электроэнергии: метод. Указания к курсовому проектированию / сост. А.А. Елгин, О.В. Самолина. – Тольятти: ТГУ, 2007. – 40 с.
- 17 Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / под ред. Ю.Г. Барыбина – М.: Энергоатомиздат, 2007.
- 18 Гольстрем, В. А. Справочник энергетика промышленных предприятий / Гольстрем В. А., Иванченко А. С. – Киев: Техника, 1979.
- 19 Онлайн Электрик: Интерактивные расчеты систем электроснабжения. – 2008 [Электронный ресурс]. Доступ для зарегистрированных пользователей. Дата обновления: 02.05.2016. – URL: <http://www.online-electric.ru> (дата обращения: 02.05.2016).
- 20 Timoshenko S.P., Young D.H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. ed.: Timoshenko S.P., IangD.Kh., Uiver U. *Kolebaniia vinzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 472 p.).

- 21 Jerzy Saferna. Praca izolatorow liniowych I stacyjnych w warunkach zabrudzeniowych. –Warszawa,1968
- 22 IEC 61000-4-30: 2008. Electromagnetic compatibility (EMC) – part 4-30: Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods (MOD).
- 23 Eugen Wiedemann, Walter Kellenberger. Konstruktion elektrischer maschinen. New York, 1967.
- 24 Quentin Graham The MUF Wave of Polyphase Windings with Special Reference to Sub-Synchronous harmonics // AIEE, №46