

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование кафедры)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение
(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Реконструкция РП-16 Центрального района г. Тольятти»

Студент

Н.В. Евдокимова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

С.В. Шаповалов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« ____ » _____ 2018 г.

Тольятти 2018

Аннотация

Темой данной работы является «Реконструкция РП-16 напряжением 6 кВ Центрального района города Тольятти».

Реконструкция предусматривает перевод электропитания РП-16 с 2-х вводов от подстанции "Северная" на электропитание по 4-м вводам: 2 ввода с подстанции "Северная" и 2 ввода с подстанции "Западная", что позволит обеспечить бесперебойное электроснабжение существующих абонентов в случае аварийной ситуации на одном из вводов, а также замену морально и физически устаревшего электрооборудования на современное с более высокой степенью надежности и большей мощностью.

Актуальность темы заключается в повышении надежности электроснабжения существующих абонентов и обеспечении их растущих потребностей, а также в обеспечении возможности подключения новых объектов капитального строительства.

Целью данной работы является выбор электрооборудования для реконструкции РП-16, соответствующего всем действующим нормативам и требованиям, обеспечивающего высокую степень надежности электроснабжения существующих абонентов путем полной защиты от всех нештатных режимов работы и возможность подключения новых объектов капитального строительства.

Данная работа состоит из пояснительной записки объемом 60 страниц, включающая в себя текстовую часть, 8 таблиц и 12 рисунков, и графического материала на 6-ти листах формата А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Общая характеристика объекта и анализ установленного оборудования	7
2 Распределение нагрузки по секциям РП до и после реконструкции.....	10
2.1 Расчет электрических нагрузок потребителей, запитанных от РП-16	12
3 Расчет токов короткого замыкания	Ошибка! Закладка не определена.
4 Выбор комплектного распределительного устройства	24
5 Выбор электрических аппаратов и токоведущих частей	27
5.1 Выбор выключателей.....	27
5.2 Выбор трансформатора тока.....	31
5.3 Выбор трансформатора напряжения.....	33
5.4 Выбор разъединителя	34
5.5 Выбор жестких шин.....	37
5.6 Выбор изоляторов	39
6 Релейная защита и автоматика.....	42
7 Выбор трансформатора собственных нужд РП-16.....	45
8 Размещение и монтаж.....	46
9 Заземление и молниезащита.	49
10 Дуговая защита на РП-16	53
Заключение	57
Список используемых источников.....	58

Введение

Стабильное и бесперебойное электропитание жизненно необходимо для нормальной жизни, здоровья населения и работы предприятий, заводов и учреждений.

Чтобы осуществлять электроснабжение целого города и окружающих его поселений необходима целая система электрических сетей. Данная система имеет индивидуальные особенности. Система электрических сетей города состоит из электроустановок, которые предназначены для его электроснабжения, а именно: преобразовательные и понижающие подстанции, электростанции, распределительные и питающие линии, а также электроприемники, обеспечивающие функционирование хозяйственно-бытовых, транспортных и промышленных потребителей, располагающихся в городской черте и в пригороде. С помощью электросетей осуществляется питание жилого фонда, маленьких, средних и, конечно, крупных промышленных потребителей, городского электрического транспорта и т.д. В связи с этим электрические сети являются самостоятельной отраслью энергетики.

В связи с постоянным притоком населения в города, развитием промышленности, созданием новых энергоемких производств требуется постоянное совершенствование электрических сетей и сооружений электроснабжения, в том числе осуществление работ по их модернизации и реконструкции.

Учитывая актуальность данного вопроса, настоящая работа посвящена реконструкции распределительного пункта РП-16 6кВ, который находится в черте г. Тольятти Самарской обл. В результате проведенного анализа существующей ситуации на данном РП выявлено следующее.

От данного РП-16 осуществляется электроснабжение многоквартирных жилых домов, Городской детской больницы №1, Тольяттинского пансионата

ветеранов труда, магазинов и других социально-значимых объектов, расположенных в зоне его действия. Подача электроэнергии на РП-16 осуществляется по двум вводам, но с одной подстанции "Северная", в связи, с чем в случае аварийной ситуации на подстанции электроснабжение абонентов будет прекращено. Кроме этого, учитывая срок службы данного РП (год ввода в эксплуатацию - 1988), установленное в нем оборудование морально и физически устарело и требует замены. При этом данное сооружение проектировалось без учета перспективной нагрузки подключения новых объектов кап.строительства и в настоящее время на РП отсутствует резерв мощности.

Таким образом основным недостатком существующего положения дел является то, что установленное в распределительном пункте оборудование не соответствует современным критериям эффективности и требованиям надежности.

Решением данной проблемы является выполнение работ по реконструкции РП с заменой оборудования на более современное с высокой степенью надежности и большей мощностью, с переводом электропитания РП от 2-х вводов на 4 ввода от двух подстанций.

Целью настоящей работы является решение указанной проблемы в части выбора для реконструкции РП-16 электрооборудования, соответствующего всем действующим нормативам и требованиям, обеспечивающего высокую степень надежности электроснабжения существующих абонентов путем полной защиты от всех нештатных режимов работы и возможность подключения новых объектов капитального строительства.

Для достижения данной цели в работе решаются следующие задачи:

- Выполнение расчёта токов КЗ.
- Выбор комплектного распределительного устройства и устанавливаемого оборудования.
- Выбор трансформатора собственных нужд.

- Выбор микропроцессорных устройств, обеспечивающих релейную защиту.
- Разработка плана размещения ячеек в помещениях РП- 16
- Выбор способа молниезащиты.

1 Общая характеристика объекта и анализ установленного оборудования

Распределительный пункт (РП) №16 находится в Центральном районе г.Тольятти по адресу: ул. Лесная, д.3а. Данный РП находится в эксплуатации и обслуживании ресурсоснабжающей организации АО «ОРЭС- Тольятти». Данная организация осуществляет электроснабжение Центрального и Комсомольского района г.о.Тольятти.

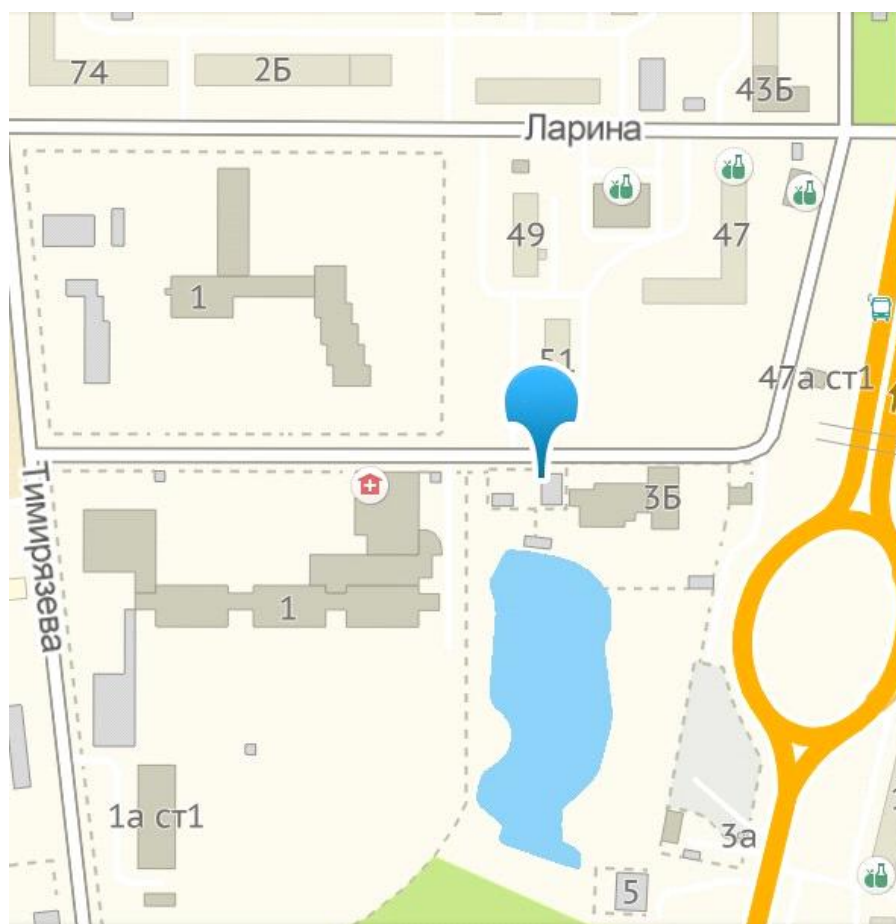


Рисунок 1.1 - Расположение РП-16

Распределительный пункт РП-16 необходим для приема и распределения электроэнергии среди разных потребителей без ее превращения и видоизменения.

РП-16 представляет из себя отдельно стоящее одноэтажное здание высотой 4,3м, прямоугольное в плане размером 12,00 на 11,20 метров.

Строение РП-16 относится: по степени ответственности - к классу "2", по долговечности - к степени "2", по пожарной опасности, следуя 123-ФЗ, к категории Д, степень огнестойкости II. Здание РП с кирпичными несущими стенами толщиной 380мм. Стены выполнены из обыкновенного глиняного кирпича пластического прессования по ГОСТ 530-95.

Перекрытие РП построено из сборных железобетонных плит. Крыша односкатная с неорганизованным водоотводом. Полы бетонные с кабель-каналами. В РП имеются два входа габаритами 1,51х2,3м, находящимися по торцам строения. В продольных стенах строения с обеих сторон глубиной 1,2 м. от уровня пола предусмотрен ввод силовых электрических кабелей.

РП укомплектовано ячейками сборными одностороннего обслуживания серии КСО-272 в количестве, каждая из которых включает в себя: разъединитель РВФЗ-10/630, маломасляный выключатель ВПМ-10, трансформатор ТПЛ-10/400/5, разъединитель РВЗ-10/630 и др. Ячейки установлены в два ряда, сгруппированы в 2 секции из 9-ти и 8-ми ячеек. В этом же помещении располагается щиток собственных нужд на освещение и электроотопление. Год ввода в эксплуатацию данного РП- 1988, т.е по состоянию на начало 2018г. оборудование РП морально и физически устарело и требует замены. В связи с этим в процессе реконструкции предусмотрена замена установленного оборудования.

Подача электроэнергии на РП-16 осуществляется по двум вводам, но с одной подстанции "Северная", в связи, с чем не обеспечивается достаточная степень надежности потребителей электроэнергии.

Учитывая, что от РП-16 осуществляется электроснабжение многоквартирных жилых домов и высоко значимых социальных объектов, а именно: Городской детской больницы №1, Тольяттинского пансионата ветеранов труда, магазинов и др., наличие только 2-х вводов, при этом от одной подстанции, является значительным недостатком.

В связи с этим реконструкция РП-16 включает в себя перевод РП на питание от 4-х вводов, что позволит обеспечить бесперебойное электроснабжение существующих абонентов в случае аварийной ситуации на одном из вводов.

Установленные в РП-16 маломасляные выключатели ВПМ-10 имеют общий недостаток- малый ресурс работы, особенно в связи с частыми коммутациями. Согласно инструкции по эксплуатации масляных выключателей их капитальный ремонт проводится один раз в 6 лет или при всего лишь 6 отключениях к.з. Эти недостатки, а также вероятность взрыва при сработке, постоянный мониторинг уровня масла, небольшие отклонения по уровню при установке, обязательность мощных приводов включения ведут к признанию масляных выключателей сильно устаревшими. В связи с чем в рамках реконструкции РП планируется замена установленных масляных выключателей на более современный вид выключателей- вакуумные.

Вакуумные выключатели намного проще в установке и обслуживании, чем масляные и их основными преимуществами являются:

- нет необходимости менять и доливать масло;
- высокая изнosoустойчивость при отключении рабочих токов и токов КЗ;
- проще в эксплуатации;
- более низкие эксплуатационные затраты;
- малoshумность, чистота, простота обслуживания,
- малые размеры и масса выключателей, маленькие динамические влияние на конструкцию;
- простота смены вакуумной дугогасительной камеры (ВДК) и ее свободного положение при проектировании выключателя;
- высокая скорость работы;
- экологичность.

2 Распределение нагрузки по секциям РП до и после реконструкции

Показателями качества электрической энергии являются: напряжение, частота тока, форма синусоиды переменного тока. В обязанности ресурсоснабжающих организаций, являющихся поставщиками электроэнергии, входит поддержка всех ее параметров в соответствии с нормативными требованиями. В зависимости от нагрузки абонентов (потребителей электроэнергии) величина основных характеристик меняется, что при значительных отклонениях влечет за собой возникновение сбоев в работе бытовых электрических устройств, причина - снижение качества электроэнергии.

В существующей схеме РП-16 имеются следующие недостатки: питание осуществляется либо от эл.подстанции «Северная», либо с подстанции «Западной»; вся нагрузка ложится на одну секцию. В связи с этим возникают сложности с качеством напряжения и его регулирования. Чем выше нагрузка на секции, тем ниже напряжение в конце линии, в связи с чем, ресурсоснабжающая организация вынуждена держать повышенное напряжение на секции. Как видно из рассматриваемой схемы, наличие резервного подключения минимально.

В ходе преддипломной практики были получены данные замеров максимальных нагрузок потребления электроэнергии до реконструкции РП, которые сведены в таблицу 2.1 с разбивкой по фидерам, с указанием резерва.

Таблица 2.1- Электрические нагрузки до реконструкции РП-16

Номер секции	Номер фидера	Электронагрузка, А
1я	Ф-1	резерв
	Ф-7 ТП 157	20
	Ф-13 ТП-159	26
	Ф-15 КТП-127	19
	Ф-17 ТП-197	85
	Ф-19 ТП-198	49
	Ф-21	резерв

Продолжение таблицы 2.1

2я	Ф – 22 ТП 242	51
	Ф – 18 ТП 198	57
	Ф – 16 ТП 197	78
	Ф – 14 ТП 159	25
	Ф – 12 ТП 157	11
	Ф – 2 ТП 211	17

После реконструкции схема становится надежнее, появляется возможность перераспределения нагрузок по секциям. В случае аварийной ситуации не возникнет необходимость отключения всех потребителей от питания. Кроме этого отпадет необходимость в повышенном напряжении, что приведет к повышению качества электроэнергии.

В таблице 2.2 указаны нагрузки по фидерам и наличие резерва после проведения реконструкции РП.

Таблица 2.2 - Электрические нагрузки после реконструкции РП-16

Номер секции	Номер фидера	Электронагрузка, А
1я	Ф-2	резерв
	Ф-4 ТП-198	49
	Ф-5 ТП-159	25
	Ф-6	резерв
2я	Ф-9 ТП-198	57
	Ф-11	резерв
	Ф-12	резерв
	Ф-14 ТП-159	26
3я	Ф-24	резерв
	Ф-25 ТП-157 (Т1)	20
	Ф-26 ТП-197	85
	Ф-27	резерв
	Ф-28	резерв
	Ф-29 ТП-242	25

Продолжение таблицы 2.2

4я	Ф-15 ТП-211	17
	Ф-17 ТП-157 (Т2)	11
	Ф-28	резерв
	Ф-19 КТП-127	19
	Ф-20 ТП-197	78
	Ф-21 ТП-242	26

2.1 Расчет электрических нагрузок потребителей, запитанных от РП-16

Для проведения сравнительного анализа значений фактических максимальных нагрузок эл.потребления, полученных путем осуществления замеров, выполнен расчет нагрузок потребителей, запитанных от РП-16.

Из возможных 5-ти методов расчета электрической нагрузки:

- по электрической продукции;
- по обще годовому электропотреблению;
- по удельным мощностям нагрузок;
- по среднегодовому коэффициенту спроса K_c ;
- метод упорядоченных диаграмм;

для расчетов применен метод коэффициента спроса, так как этот метод используется при отсутствии точной информации об имеющихся нагрузках у потребителей.

Расчетная нагрузка определяется по формуле 2.1, при этом все электроприемники объединяются в группы по техническим процессам:

$$P_p = K_c \cdot P_{\text{ном}}, \quad (2.1)$$

«где K_c - коэффициент спроса, характерный для электроприемников группы; $P_{ном}$ - установленная мощность группы электроприемников»[3]

«Расчётная электрическая нагрузка квартир $P_{кв}$ кВт, определяется по формуле 2.3:»[3]

$$P_{кв} = P_{кв,уд} \cdot n, \quad (2.3)$$

«где $P_{кв,уд}$ –удельная расчетная электрическая нагрузка электроприемников квартир, кВт/квартира. n-количество квартир»[3]

«Расчетная нагрузка силовых электроприемников P_c , кВт, находим по формуле 2.4:»[3]

$$P_c = P_{пл} + P_{ст,у}, \quad (2.4)$$

«Мощность лифтовых установок $P_{р,л}$, кВт, находим по формуле 2.5:»[3]

$$P_{р,л} = k'_c \cdot \frac{n_l}{1} P_{n_l}, \quad (2.5)$$

«где k'_c -коэффициент спроса; n_l -количество лифтов; P_{n_l} -установленная мощность электродвигателей лифтов,кВт.»[8]

«Мощность электродвигателей насосов водоснабжения, вентиляторов и других санитарно- технических устройств $P_{ст,у}$, кВт, определяется по их установленной мощности с учетом коэффициента спроса k_c » [3]

$$P_{ст,у} = k''_c \cdot \frac{n}{1} P_{ст,у}, \quad (2.6)$$

«Расчетная электрическая нагрузка жилого дома $P_{р.ж.д.}$, кВт, определяется по формуле 2.7:»[8]

$$P_{р.ж.д} = P_{вк} + k_y P_c, \quad (2.7)$$

«где $P_{\text{БК}}$ -расчетная электрическая нагрузка квартир, кВт; $P_{\text{с}}$ -расчетная нагрузка электроприемников жилого дома, кВт; k_y -коэффициент участия в максимуме нагрузки силовых электроприемников (равен 0.9).»[3]

Рассчитаем нагрузку по фидерам:

От Ф-4 запитан:

1. Дом ветеранов труда, в котором проживают 200 человек. Имеется пищеблок, бассейн, прачечная.

Удельная нагрузка по проживающим:

$$P_{\text{д.в}} = 0,36 \cdot 200 \cdot 0,92 = 66,2 \text{ кВт.}$$

Пищеблок:

$$P_{\text{п.б}} = 1,04 \cdot 200 \cdot 0,98 = 203,8 \text{ кВт.}$$

Нагрузка на бассейн принимаем = 20 кВт.

Прачечная:

$$P_{\text{п}} = 150 \cdot 0,075 \cdot 0,8 = 9 \text{ кВт}$$

Суммарная расчетная нагрузка:

$$P_{\text{сум}} = 66,2 + 203,8 + 20 + 9 = 299 \text{ кВт}$$

2. Павильон «Продукты» общей площадью 27 м^2 с кондиционером.

$$P_{\text{м}} = 27 \cdot 0,25 \cdot 0,8 = 4 \text{ кВт.}$$

3. Часные постройки с различными условиями, рассчитаем их по выкупленной стоимости от 5 до 15 кВт.

$$P_{\text{сум}} = 3 \cdot 5 + 6 \cdot 10 + 5 \cdot 15 = 105 \text{ кВт.}$$

Сумма по фидеру:

$$P_{\text{ф4}} = 299 + 4 + 105 = 453 \text{ кВт.}$$

От Ф-5 запитан 10-и этажный дом- 3 подъезда, 120 кв с электрическими плитами:

$$P_{\text{д}} = 120 \cdot 1,97 \cdot 1 = 236,4 \text{ кВт.}$$

Мощность лифтовых установок:

$$P_d = 3 \cdot 0,9 \cdot 7,5 = 20,22 \text{ кВт.}$$

Суммарная расчетная нагрузка:

$$P_d = 236,4 + 20,22 = 256,65 \text{ кВт.}$$

От Ф-9 запитан детский сад на 340 мест, с пищеблоком, санитарной электрической системой (водонагреватели, насос), прачечной.

$$P_{д,с} = 340 \cdot 0,46 \cdot 0,97 = 151,7 \text{ кВт.}$$

Пищеблок:

$$P_{п.б} = 340 \cdot 1,04 \cdot 0,98 = 346,5 \text{ кВт.}$$

Прачечная:

$$P_{п} = 102 \cdot 0,075 \cdot 0,8 = 6,12 \text{ кВт.}$$

Водонагреватели и насос:

$$P_{в} = (2 \cdot 13 + 3) \cdot 0,8 = 23,2 \text{ кВт.}$$

Суммарная расчетная нагрузка по садику:

$$P_{\text{сум.дс}} = 151,7 + 346,5 + 6,12 + 23,2 = 527,5 \text{ кВт}$$

От Ф-14 запитаны:

1. многоэтажный жилой дом: 16 этажей с 2 лифтами, 128 кв, насосом для водоснабжения верхних этажей:

$$P_{д} = 128 \cdot 1,46 = 186,9 \text{ кВт.}$$

Мощность лифтовых установок:

$$P_{л} = 0,9 \cdot (7,5 + 13) = 18,45 \text{ кВт.}$$

Мощность насоса:

$$P_{н} = 5 \cdot 1 = 5 \text{ кВт.}$$

Суммарная расчетная нагрузка по дому:

$$P_{\text{сум.д}} = 186,9 + (0,9 \cdot 23,45) = 208,01 \text{ кВт.}$$

2. Пивной павильон 30 м^2 с кондиционером:

$$P_{м} = 30 \cdot 0,25 \cdot 0,8 = 6 \text{ кВт.}$$

3. Продуктовый павильон площадью 200м^2 с кондиционером:

$$P_{\text{пп}} = 210 \cdot 0,16 \cdot 0,9 = 30,24\text{кВт}.$$

Сумма по фидеру:

$$P_{\text{сум.ф}} = 208,01 + 6 + 30,24 = 244,24\text{кВт}.$$

От Ф-25 запитана детская больница на 250мест:

$$P_{\text{д.б}} = 250 \cdot 0,8 = 200\text{кВт}$$

От Ф-26 запитано:

1. Многоэтажный дом: 3подъзда -10этажей с лифтом; 2 подъезда 7этажей без лифта с электрическими плитами:

$$P_{\text{д10э}} = 120 \cdot 1,34 = 160,8\text{кВт}$$

$$P_{\text{д7э}} = 56 \cdot 2,12 = 118,7\text{кВт}$$

Мощность лифтовых установок:

$$P_{\text{л}} = 0,65 \cdot (3 \cdot 7,5) = 14,63\text{кВт}.$$

Суммарная расчетная нагрузка по дому:

$$P_{\text{сум.д}} = 160,8 + 118,7 + 14,63 = 294,13\text{кВт}$$

2. Два дома улучшенной комфортности: 2 подъезда, 10этажей.

$$P_{\text{д10э}} = 80 \cdot 2,4 = 192\text{кВт}$$

3. Офисные помещения $39\text{м}^2, 50\text{м}^2, 22\text{м}^2$ с кондиционером:

$$P_{\text{о}} = (39 + 50 + 22) \cdot 0,054 \cdot 0,87 = 5,12\text{кВт}.$$

4. Офисные помещения $35\text{м}^2, 55\text{м}^2, 40\text{м}^2$ без кондиционера:

$$P_{\text{о}} = (35 + 55 + 40) \cdot 0,043 \cdot 0,9 = 5,03\text{кВт}$$

5. Парикмахерская на 5 рабочих места:

$$P_{\text{п}} = 5 \cdot 1,5 = 7,5\text{кВт}.$$

6. Часные постройки с различными условиями, рассчитаем их по выкупленной стоимости от 5 до 15кВт.

$$P_{\text{ж.д}} = 5 \cdot 5 + 10 \cdot 7 + 4 \cdot 15 = 140\text{кВт}$$

Сумма по фидеру:

$$P_{\text{сум.ф}} = 192 \cdot 2 + 294,13 + 5,12 + 5,03 + 7,5 + 140 = 835,8 \text{ кВт.}$$

От Ф-29 запитаны:

1. 3 дома на природном газе, без лифта, 36 кв.

$$P_{\text{д}} = 36 \cdot 1,16 = 42 \text{ кВт}$$

2. Часные постройки с различными условиями, рассчитаем их по выкупленной стоимости от 5 до 15 кВт.

$$P_{\text{ж.д}} = 10 \cdot 5 + 5 \cdot 15 = 125 \text{ кВт}$$

Сумма по фидеру:

$$P_{\text{сум.ф}} = 42 \cdot 3 + 125 = 251 \text{ кВт.}$$

От Ф-15 запитано кафе на 150 посадочных мест:

$$P_{\text{кафе}} = 180 \cdot 1,04 \cdot 0,98 = 183,4 \text{ кВт.}$$

От Ф-17 запитаны поликлиника на 150 человек.

$$P_{\text{пол}} = 150 \cdot 0,8 = 120 \text{ кВт}$$

От Ф-19 запитаны:

1. Жилой 5 этажный дом без лифта на природном газе. На первом этаже которого расположен большой продуктовый магазин, площадь которого 350 м^2 . Для расчета берем площадь за минусом хозяйственных помещений:

$$P_{\text{маг}} = 0,25 \cdot 0,8 \cdot 201 = 40,2 \text{ кВт.}$$

$$P_{\text{ж.д.}} = 1,46 \cdot 48 = 70 \text{ кВт.}$$

2. Торговые павильоны 150 м^2 и 46 м^2 с кондиционером:

$$P_{\text{пав}} = 0,16 \cdot 0,9 \cdot (150 + 46) = 28,2 \text{ кВт.}$$

3. Павильон «Союз печать» 6 м^2 :

$$P_{\text{с.п}} = 0,25 \cdot 0,8 \cdot 6 = 1,2 \text{ кВт.}$$

4. Часные постройки с различными условиями, рассчитаем их по выкупленной стоимости от 5 до 15 кВт.

$$P_{\text{ч.п}} = 2 \cdot 5 + 2 \cdot 10 + 1 \cdot 15 = 45 \text{ кВт}$$

Сумма по фидеру:

$$P_{\text{сум.ф}} = 40,2 + 70 + 28,2 + 1,2 + 45 = 184,6 \text{ кВт.}$$

От Ф-20 запитаны:

1. 2 дома: по 10 этажей, 6 подъездов, 240 кв с электрическими плитами:

$$P_{\text{д}} = 240 \cdot 1,34 \cdot 1 = 321,6 \text{ кВт.}$$

Мощность лифтовых установок:

$$P_{\text{д}} = 0,65 \cdot (6 \cdot 7,5) = 29,25 \text{ кВт.}$$

Суммарная расчетная нагрузка по дому:

$$P_{\text{сум.д}} = 321,6 + 29,25 = 350,85 \text{ кВт}$$

2. Парикмахерская на 3 рабочих места:

$$P_{\text{п}} = 3 \cdot 1,5 = 4,5 \text{ кВт.}$$

3. Офис площадью 27 м^2 с кондиционера:

$$P_{\text{о}} = 27 \cdot 0,054 \cdot 0,87 = 1,3 \text{ кВт.}$$

4. Офис площадью 80 м^2 без кондиционера:

$$P_{\text{о}} = 80 \cdot 0,043 \cdot 0,9 = 3,1 \text{ кВт.}$$

Сумма по фидеру:

$$P_{\text{сум.ф}} = 350,85 \cdot 2 + 4,5 + 1,3 + 3,1 = 710,6 \text{ кВт.}$$

От Ф-21 запитаны:

1. Ночная автостоянка, посчитаем ее по выкупленной мощности 3 кВт.

2. Лесхоз рассчитаем как домик на участках садоводческих товариществ:

$$P_{\text{л}} = 1 \cdot 4 = 4 \text{ кВт.}$$

3. Часные постройки с различными условиями, рассчитаем их по выкупленной стоимости от 5 до 15 кВт.

$$P_{\text{ч.п}} = 5 \cdot 5 + 10 \cdot 10 + 8 \cdot 15 = 245 \text{ кВт.}$$

Сумма по фидеру:

$$P_{\text{сум.ф}} = 3 + 4 + 245 = 252 \text{ кВт.}$$

Вносим данные выполненных расчетов в таблицу сравнительного анализа фактических нагрузок и расчетных нагрузок потребителей 2.3.

В таблицах 2.1. и 2.2. электрическая нагрузка по фидерам указана в единицах измерения - Ампер. Для удобства сравнения переведем указанные значения нагрузок в другую единицу измерения - кВт, с помощью формулы 2.8:

$$P = \sqrt{3} \cdot I \cdot U \cdot \cos \varphi , \quad (2.8)$$

Таблица 2.3 - Сравнительный анализ фактических нагрузок и расчетных нагрузок потребителей

Номер секции	Номер фидера	Электрическая нагрузка, А	Замеренная электрическая нагрузка, кВт.	Рассчитанная Электрическая нагрузка, кВт.
1я	Ф-2	резерв		
	Ф-4 ТП-198	49	480	453
	Ф-5 ТП-159	25	245	256,65
	Ф-6	резерв		
2я	Ф-9 ТП-198	57	558	527,5
	Ф-11	резерв		
	Ф-12	резерв		
	Ф-14 ТП-159	26	258	244,24
3я	Ф-24	резерв		
	Ф-25 ТП-157 (Т1)	20	196	200
	Ф-26 ТП-197	85	833	835,8
	Ф-27	резерв		
	Ф-28	резерв		
	Ф-29 ТП-242	25	245	251
4я	Ф-15 ТП-211	17	167	183,4

	Ф-17 ТП-157 (Т2)	11	108	120
	Ф-28	резерв		
	Ф-19 КТП-127	19	186	185
	Ф-20 ТП-197	78	764	710,6
	Ф-21 ТП-242	26	254	

3 Расчет токов короткого замыкания

Выполнение расчета токов короткого замыкания (КЗ) требуется для подбора и проверки оборудования, разработка и наладки устройств релейной защиты и автоматики, разработка заземления и т.д.

Выберем для нашего оборудования, трехфазный ток КЗ из-за наибольшего значения в сетях 6(10) кВ. При определении тока КЗ в сетях 1000В и более рассчитывается только индуктивное сопротивление элементов цепи. Расчет выполнен в относительных единицах. На рисунке 3.1 отображена расчетная схема токов КЗ. На рисунке 3.2 отображена схема замещения.

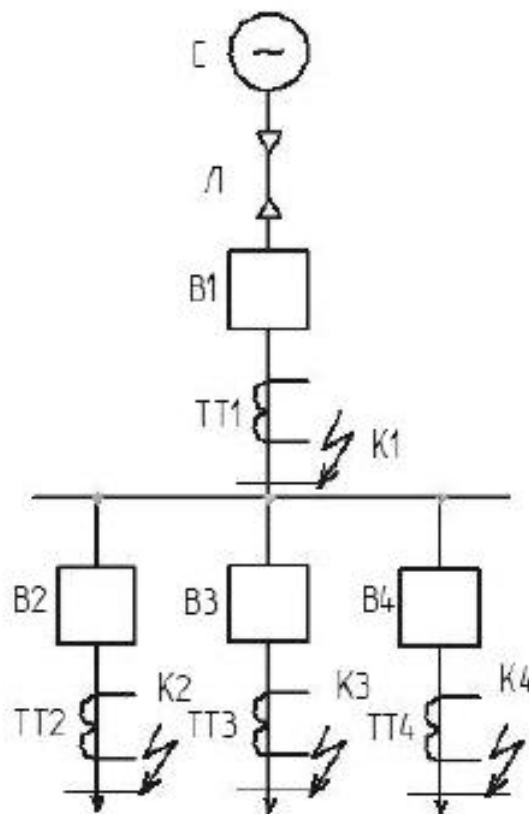


Рисунок 3.1 - Расчетная схема

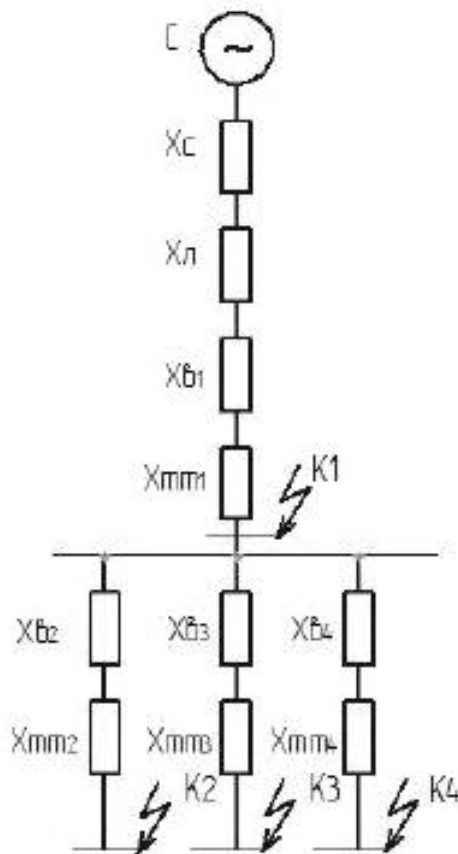


Рисунок 3.2 - Схема замещения

Контакты выключателей трансформаторов тока имеют очень маленькие индуктивные сопротивления и, соответственно, их можно не учитывать в расчете.

Исходные данные:

Система:

$U_H = 6 \text{ кВ}, S_6 = 1000 \text{ МВА},$

Питание от ГПП «Северная» секция 1 и 2:

$S_K = 94,17 \text{ МВА},$

Питание от ГПП «Западная» секция 3 и 4

$S_K = 77,51 \text{ МВА},$

Линия:

$X_0 = 0,071 \text{ Ом/кВ}, l = 0,89 \text{ км}, U_H = 6 \text{ кВ}.$

$X_0 = 0,071 \text{ Ом км'}$ «сопротивление кабеля, определяемое по справочнику» [2].

Вычисление сопротивлений частей схемы.

Исходя из схемы замещения, определяем сопротивление каждого из элементов цепи.

Сопротивление системы:

$$X_c = \frac{S_6}{S_K} \quad (3.1)$$

А)

Б)

$$X_c = \frac{1000}{94,17} = 10,6$$

$$X_c = \frac{1000}{77,52} = 12,9$$

Сопротивление в линии:

$$X_L = X_0 \cdot L \cdot \frac{S_6}{U^2_H}, \quad (3.2)$$

$$X_L = 0,071 \cdot 0,89 \cdot \frac{1000}{6,3^2} = 1,592$$

Результирующее сопротивление в точке К1:

$$X_{рез} = X_c + X_L, \quad (3.3)$$

А)

Б)

$$X_{рез} = 10,6 + 1,59 = 12,19$$

$$X_{рез} = 12,9 + 1,59 = 14,49$$

При последующих расчетах используем наибольшее значение $X_{рез} = 14,49$

Определяем базисный ток:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_B}, \quad (3.4)$$

$$I_6 = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 91,6 \text{ кА}$$

Вычисляем первое действующее значение периодической составляющей тока КЗ:

$$I_{\text{по}}^3 = I_{\text{б}} \cdot \frac{E_{\text{б}}}{x_{\text{рез}}}, \quad (3.5)$$

$$I_{\text{по}}^3 = 91.6 \cdot \frac{1}{14.49} = 6,32 \text{ кА}.$$

Величина ударного тока КЗ составит:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2 \cdot I_{\text{н,о}}} \cdot k_{\text{уд}}, \quad (3.6)$$

$$k_{\text{уд}} = 1,72 i_{\text{уд}} = \sqrt{2 \cdot 6,32 \cdot 1,72} = 15,37 \text{ кА},$$

«где ударный коэффициент, определяемый в справочнике» [2].

В точках К2, К3 и К4 результирующее сопротивление соответствует результирующему сопротивлению в точке К1, в связи с тем, что значения индуктивных сопротивлений контактов выключателей, а также трансформаторов тока не значительны, их сопротивления в расчет не принимаются. Также значение тока КЗ, базисного и ударного тока в К2, К3, К4 будут эквивалентны значениям в К1.

4 Выбор комплектного распределительного устройства

«Выбор комплектных распределительных устройств (КРУ)»[2]
осуществляется по ряду характеристик:

- Номинальному напряжению:

$$U_{\text{сет.ном}} \leq U_{\text{ном}},$$

$$6\text{кВ} \leq 6\text{кВ}$$

- Номинальному току:

$$I_{\text{р.мах}} \leq I_{\text{ном}},$$

С учетом перегрузки в 40% расчетный ток составит:

$$I_{\text{р.мах}} = I_{\text{р}} \cdot 1,4, \quad (4.1)$$

$$I_{\text{р}} \cdot I_{\text{р.мах}} = 85 \cdot 1,4 = 119, \text{А}$$

где – максимальное значение тока на выходящих фидера:

$$119\text{А} \leq 630\text{А}$$

Таблица 4.1 - Выбор камер КРУ

Величины	Расчетные	Каталог	Характеристика
Номинальное напряжение	6кВ	6кВ(10кВ)	$U_{\text{сет.ном}} \leq U_{\text{ном}}$
Номинальный ток	119 А	630 А	$I_{\text{р.мах}} \leq I_{\text{ном}}$

Для замены существующих камер (ячеек) в качестве камер комплектного распределительного устройства выбираем КСО-298. Выбранные камеры также имеются на подобных объектах АО «ОРЭС-Тольятти», у которого имеется большой положительный опыт их эксплуатации.

К достоинствам камер КСО-298 относится их низкая стоимость в сравнении с другими марками КРУ, а также легкость и простота в процессе

эксплуатации и технического обслуживания. Внешний вид камеры КСО-298 представлен на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 - Внешний вид камеры КСО-298

Размеры камеры КСО-298 составляют: ширина 0,75 м., толщина 1,1 м., высота 2,65 м.

«В камеры КСО-298 можно установить следующее оборудование:

- вакуумные выключателя: ВВ/TEL, ВВМ-СЭЩ, EVOLIS и др.;
- трансформаторы тока: ТЛП-10, ТПОЛ-10, ТОЛ-10 и др.;

-разъединители РВЗ и РВФЗ 630, 1000А с приводами ПР-10 и заземляющими ножами;

- трансформаторы напряжения: ЗНИОЛ, НАЛИ-СЕЩ, ЗНИОЛ и др.;

-ограничители перенапряжения: ОПН-6, ОПН-10.;

-предохранители: ПКН, ПКТ;

-силовые трансформаторы ТМГ-20, ТМГ-40.»[19]

КРУ КСО-298 КСО и можно перечислить ряд преимуществ: и можно перечислить ряд преимуществ:

«-один универсальный размер ячеек, даже ячейки с трансформатором собственных нужд;

-корпус изготовлен из тонколистовой оцинкованной стали, с специальным полимерным покрытием, что выполняет заданную коррозионную стойкость и прочность;

-внутреннюю шину заземления;

-смотровые окна для контроля расположения оборудования и иллюминации отсеков;

- большой выбор элементной базы вспомогательных цепей, в том числе и микропроцессоры;»[19]

-все нужные механические блокировки:

- увеличенный кабельный отсек, позволяющий подключить 2 «трехфазных кабеля сечением до 240 мм² или 3 однофазных сечением до 500 мм²;»[19]

- опция по демонтажу трансформаторов и выключателя без разборки камер для последующего ремонта или замены;

- высокий уровень безопасности, в связи с использованием закрытых шин;

- малые габариты ячеек по сравнению с другими камерами КРУ, это дает большое преимущество в размерах РП.

5 Выбор электрических аппаратов и токоведущих частей

На распределительной подстанции установлены выключатели ВПМ-10, относящиеся к жидкостным высоковольтным выключателям с незначительным объемом дугогасящей жидкости (трансформаторного масла).

Работа выключателя основана на принципе гашения электрической дуги, которая образуется при разъединении контактов потоком газомасляной смеси, возникающей в итоге интенсивного расслоения трансформаторного масла под воздействием высокой температуры в процессе горения дуги. Данный поток приобретает определенное направление в специализированном дугогасительном устройстве, которое размещено в зоне горения дуги. Включение выключателей происходит за счет энергии привода ПП 67, а отключение за счет энергии отключающих пружин выключателя. Данное оборудование имеет 100% моральный и физический износ и требует замены на более современное и удобное в эксплуатации.

Подбору оборудования распределительного пункта предшествует обозначение расчетных условий, в которых указываются расчетные рабочие токи присоединений и токи КЗ.

После этого осуществляется сравнение расчетных значений с номинальными характеристиками аппаратов, подбираемых по каталогам и справочникам.

Кроме этого при подборе оборудования учитываются такие параметры, как вид установки, вес, конструкция, экономическая составляющая, простота монтажа в РП и др.

5.1 Выбор выключателей

Выключатель подбирается по следующим ТХ:

1) номинальному току:

$$I_{p.max} \leq I_{ном}$$

$$119A \leq 1000A,$$

2) номинальному напряжению:

$$U_{\text{сет.ном}} \leq U_{\text{ном}}$$

$$6\text{кВ} \leq 6\text{кВ}$$

3) отключающей способности:

а) симметричному току отключения:

$$I_{n.\tau} \leq I_{\text{откл.ном}},$$

$$6,23\text{кА} \leq 20\text{кА},$$

б) отключению апериодической составляющей тока КЗ:

$$i_{a\tau} \leq i_{a.\text{ном}},$$

$$i_{a.\text{ном}} = \left(\frac{2 \cdot \beta_{\text{ном}}}{100} \right) \cdot I_{\text{откл.ном}}$$

(5.1)

$$i_{a.\text{ном}} = \frac{2 \cdot 0,2 \cdot 20}{100} = 5,65\text{кА}$$

$$i_{a.\tau} = \frac{2 \cdot I_{\text{п.о}} \cdot e^{-\tau T_a}}{100}, \quad (5.2)$$

$$i_{a.\tau} = \frac{2 \cdot 6,32 \cdot 0,17}{100} = 1,52\text{кА},$$

$$1,52\text{кА} \leq 5,65\text{кА},$$

«где $i_{a.\tau}$ - величина апериодической части в отключаемом токе для времени

$$\tau = t_{\text{рз}} + t_{\text{с.в}},$$

$t_{\text{рз}}=0,01$ с - значение времени действия релейной защиты;

$t_{\text{с.в}}$ время срабатывания выключателя;

$t_{\text{нор}}$ нормированное содержание апериодической составляющей в отключаемом токе, %, которое определяется по известным кривым»[6]

4) электродинамической стойкости:

$$I_{n.o} \leq I_{\text{прс}},$$

$$6,23\text{кА} \leq 20\text{кА},$$

$$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{прс}},$$

$$15,37\text{кА} \leq 52\text{кА},$$

«где $I_{\text{прс}}$ -действующее значение предельного тока КЗ;

$i_{\text{прс}}$ -амплитудное значение тока КЗ. Значения представлены в каталожных данных выключателя.»[6]

5) термической стойкости:

$$B_{\text{к}} \leq I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{T}}$$

если $t_{\text{откл}} \leq t_{\text{T}}$ то:

$$B_{\text{к}} \leq I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{откл}}$$

«где I_{T} ток термической устойчивости;

$t_{\text{откл}}$ длительность протекания тока термической устойчивости. Значения представлены в каталожных данных выключателя»[4].

«Термическая стойкость с продолжительностью КЗ=0.2с рассчитывается по следующей формуле:»[4]

$$B_{\text{к}} = I_{\text{п.о}}^3 \cdot t_{\text{откл}} + T_{\text{а}} , \quad (5.3)$$

$$B_{\text{к}} = 6,32^2 \cdot 0,2 + 0,04 = 9,59\text{кА}^2 \cdot \text{с},$$

«где $T_{\text{а}}$ - постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ и определяется по справочнику»[6].

Учитывая, что $t_{\text{откл}} < t_{\text{T}}$, термическая стойкость с продолжительностью КЗ выбранного выключателя рассчитывается следующим образом:

$$I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{откл}} = 20^2 \cdot 0.2 = 80\text{кА}^2 \cdot \text{с}, \quad (5.4)$$

Расчетные токи КЗ:

$$I_{п.о}^3 = 6,32\text{кА},$$

$$i_{уд} = 15,37\text{кА}.$$

На основании результатов расчета подбираем вакуумный выключатель ВВ/ТЕ1-10-20/1000 У2. Выбранный выключатель изображен на рисунке. 5.1.



Рисунок. 5.1 - Выключатель ВВ/ТЕ1-10-20/1000 У2

Вакуумные выключатели выбранной серии ВВ/ТЕ1- это коммутационные приборы нового поколения, принцип действия которых основан на гашении электрической дуги, возникающей при разъединении контактов в глубоком вакууме, «при этом фиксация контактов вакуумных дугогасительных камер (ВДК) в замкнутом положении происходит за счет остаточной индукции приводных электромагнитов ("магнитная защелка").»[6]

Таблица 5.2- Выбор вакуумного выключателя.

Величины	Расчетные	Каталог	Характеристика
Номинальное напряжение	6кВ	6кВ	$U_{\text{сет.ном}} \leq U_{\text{ном}}$
Номинальный ток	119 А	1000 А	$I_{\text{р.мах}} \leq I_{\text{ном}}$
Отключающая способность	6,32 кА	20 кА	$I_{\text{n.т}} \leq I_{\text{откл.ном}}$
	1.52 кА	5,65 кА	$i_{\text{ат}} \leq i_{\text{а.ном}}$
Электродинамическая стойкость	6,32 кА	20 кА	$I_{\text{n.o}} \leq I_{\text{прс}}$
	15,37 кА	52 кА	$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{прс}}$
Термическая стойкость	9,59 кА ² с	80 кА ² с	$B_{\text{к}} \leq I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{откл}}$

Делаем вывод, что выключатель который был нами выбран по каталогу - проходит проверку и подходит для использования на реконструируемом РП.

5.2 Выбор трансформатора тока

Выбор трансформаторов тока осуществляется по следующим ТХ:

1) номинальному току:

$$I_{\text{р.мах}} \leq I_{\text{ном}}$$

$$119\text{А} \leq 600\text{А}$$

2) номинальному напряжению:

$$U_{\text{сет.ном}} \leq U_{\text{ном}}$$

$$6\text{кВ} \leq 10\text{кВ}$$

3) электродинамической стойкости:

$$i_{\text{уд}} = K_{\text{эд}} \cdot \sqrt{2} * I_{\text{ном}} \quad (5.5)$$

$$i_{\text{уд}} = 100 \cdot \sqrt{2 \cdot 0,6} = 84.85\text{А}$$

$$15,37\text{кВ} \leq 84,85\text{кВ}$$

3) термической стойкости:

$$\begin{aligned} B_k &\leq K_T^2 \cdot I_{1\text{ном}}^2 \cdot t_T = I_T^2 \cdot t_T \\ 45^2 \cdot 0.6^2 \cdot 3 &= 2187 \text{кА}^2 \cdot \text{с} \\ 9,59 \text{кА}^2 \cdot \text{с} &\leq 2187 \text{кА}^2 \cdot \text{с} \end{aligned} \quad (5.6)$$

«5) конструкции и классу точности;

6) вторичной нагрузке.»[4]

Исходя из характеристик, берем трансформатор тока ТПЛ-10. Внешний вид подобранного трансформатора тока изображен на рис. 4.2.

Данные трансформатора тока из каталога и полученные путем расчета представлены в таблице 5.3.

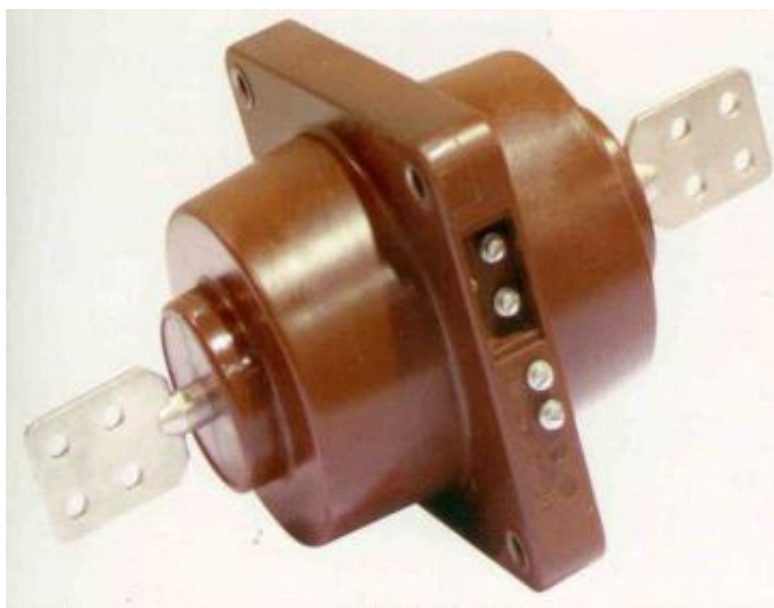


Рисунок 5.2 - Трансформатор тока ТПЛ-10

Таблица 5.3- Расчетные данные трансформатора тока и данные по каталогу

Величины	Расчетные	Каталог	Характеристика
Номинальное напряжение	6кВ	6кВ(10кВ)	$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}}$
Номинальный ток	119 А	600 А	$I_p \leq I_{\text{ном}}$
Электродинамическая стойкость	15,37 кА	84,85 кА	$i_{\text{уд}} = K_{\text{эд}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном}}$
Термическая стойкость	9,59 кА ² с	2187 кА ² с	$B_k \leq K_T^2 \cdot I_{1\text{ном}}^2 \cdot t_T$

Вывод: В качестве измерительного прибора выбираем для установки мультиметр:PM130EH PLUS.

5.3 Выбор трансформатора напряжения

Трансформатор напряжения подбирается по следующим ТХ:

- 1) По номинальному напряжению:

$$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}}$$

$$6\text{кВ} \leq 10\text{кВ}$$

«Вследствие того, что вторичная нагрузка на трансформатор напряжения от мультиметра PM130EH PLUS составляет ничтожную величину, то выбор трансформатора напряжения производим по номинальному напряжению.»[6]

Исходя из наших характеристик, нам подходит трансформатор напряжения ЗНОЛп-6. Этот трансформатор напряжения - измерительный. «Он годится для размещения в выбранных камерах КСО-298 и от него осуществляется питание контрольно-измерительных приборов, релейных (микропроцессорных) защит и приборов учета электроэнергии. Трансформатор напряжения ЗНОЛ-6 представлен на рисунке 5.3.»[19]



Рисунок 5.3 - Трансформатор напряжения ЗНОл-6

5.4 Выбор разъединителя

Разъединитель выбираем по следующим ТХ:

1) номинальному току:

$$I_{p.max} \leq I_{ном}$$

$$119A \leq 1000A$$

2) номинальному напряжению:

$$U_{ном} \leq U_{сет.ном},$$

$$6кВ \leq 6кВ$$

3) электродинамической стойкости:

$$I_{n,o} \leq I_{прс},$$

$$6,32кВ \leq 20кВ$$

$$i_{уд} \leq i_{прс},$$

$$15,37\text{кА} \leq 51\text{кА}$$

4) термической стойкости:

$$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T$$

Если $t_{\text{откл}} \leq t_T$, то

$$B_k \leq I_T^2 \cdot t_{\text{откл}}$$

$$9,59\text{кА}^2 \cdot \text{с} \leq 80\text{кА}^2 \cdot \text{с};$$

5) виду установки и конструкции.

Расчетные значения разъединителя аналогичны выключателю и указаны в пункте 5.1

Исходя из ТХ, выбираем разъединитель РВФ3-10/630, установка которого возможна в выбранных камерах КСО-298. Назначение данного разъединителя:

-безопасное выполнение работ на отключенном участке.

«-включение и отключение участков электрической цепи, находящихся под напряжением, при отсутствии нагрузочного тока.

-отключение и включение кабельных и воздушных линий, тока холостого хода трансформаторов и токов малых нагрузок.»[19]

Между основным валом и валом заземляющих ножей в данном разъединителе имеется механическая блокировка. Указанный вид блокировки делает практически невозможным ошибочное включение.

Разъединитель изображен на рисунке 5.4.



Рисунок 5.4 - Разъединитель РВФ3-10/630

Таблица 5.4 - Расчетные данные разъединителя и данные из каталога

Величины	Расчетные	Каталог	Характеристика
Номинальное напряжение	6кВ	6кВ	$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}}$
Номинальный ток	119 А	1000 А	$I_{\text{р.мах}} \leq I_{\text{ном}}$
Электродинамическая стойкость	6,32 кА	20 кА	$I_{\text{н.о}} \leq I_{\text{прс}}$
	15,37 кА	51 кА	$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{прс}}$
Термическая стойкость	9,59 кА ² с	80 кА ² с	$B_{\text{к}} \leq I_{\text{Т}}^2 \cdot t_{\text{откл}}$

Делаем вывод, что выбранный разъединитель проверку прошел и его можно использовать для реконструкции на РП-16.

5.5 Выбор жестких шин

Расчет сечения жестких шин осуществляется на основании экономической плотности тока согласно формуле:

$$S = \frac{I_{p,ном}}{j_{ЭК}}; \quad (5.10)$$
$$S = \frac{119}{1,3} = 91,5 \text{ мм}^2;$$

Полученной площади сечения соответствуют шины прямоугольного сечения размером 60х6мм 2с $I_{доп}=880\text{А}$.

Проверка выбранного сечения осуществляется по:

- 1) длительно допустимому току нагрева:

$$I_{max} < I_{max},$$
$$119 \text{ А} < 880 \text{ А}$$

- 2) термической стойкости при КЗ.

По условиям термической стойкости находится минимальное сечение:

$$S_{min} = \frac{\overline{B}_K}{C_T}; \quad (5.11)$$
$$S_{min} = \frac{9,59 \cdot 10^3}{90} = 34.41,$$

« C_T - коэффициент, зависящий от допускаемой температуры при Кз и материала проводника»[6] (в нашем случае он равен 90).

Таким образом шины термически стойкие, исходя из:

$$S_{min} < S_{max},$$
$$34.41 \text{ мм}^2 < 360 \text{ мм}^2,$$

- 3) частоте собственных колебаний для предотвращения механического резонанса.

Величина электродинамических сил, которые образуются при КЗ, меняется с частотой 50 и 100 Гц. Если собственные частоты соответствуют данным значениям, то нагрузки на шины и изоляторы увеличатся. Собственные

частоты должны находиться в пределах: меньше 30 и больше 200 Гц - в этом случае механического резонанса не возникает.

Частота собственных колебаний шины вычисляется по следующей формуле:

$$f_0 = \frac{r_1^2}{2\pi l^2} \cdot \frac{\overline{EJ}}{m}, \quad (5.12)$$

$$f_0 = \frac{4,73^2}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5^2} \cdot \frac{7 \cdot 10^{10} \cdot 0,21 \cdot 10^{-8}}{0,97} = 19,46 \text{ Гц},$$

«где $l = 1.5$ м. - расстояние между изоляторами;

J - момент инерции поперечного сечения шины»[6], вычисляемой по формуле:

$$J = \frac{h \cdot b^3}{12}; \quad (5.13)$$

$$J = \frac{6 \cdot 0,6^3}{12} = 0,21 \text{ см}^4 = 0,21 \cdot 10^{-8} \text{ м};$$

« $E = 7 \cdot 10^{10}$ Па -модуль упругости шины;

$R = 4.73$ - значение основной собственной»[6] части шины

m – масса шины вычисляется по формуле:

$$m = \rho \cdot b \cdot h \cdot l; \quad (5.14)$$

$$m = 2,7 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 0,6 \cdot 100 = 0,972 \text{ кг м};$$

«где $\rho = 2,7 \cdot 10^{-3}$ кг см³ -плотность материала шины(алюминий);

l – принятая длина 1 м.»[6]

Так как частота свободных колебаний менее 30 Гц и равняется 19.46 Гц, механический резонанс не появляется, то есть, данные шины соответствуют требуемым условиям.

4) электродинамической стойкости при КЗ:

$$\sigma_{\text{раб}} \langle \sigma_{\text{доп}}$$

«где $\sigma_{\text{доп}} = 89 \text{ МПа}$ - допустимое напряжение в материале шин марки АДЗ1Т.»[6]

«Напряжение в материале шин при взаимодействии фаз определяется по формуле:

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{\bar{3} \cdot 10^{-7} \cdot l_{\text{из}}^2 \cdot i_{\text{уд}}^2 \cdot k_{\text{ф}} \cdot k_{\text{распр}}}{\lambda \cdot w \cdot a}; \quad (5.15)$$

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{\bar{3} \cdot 10^{-7} \cdot 1,5^2 \cdot 15370^2 \cdot 0,65 \cdot 1}{12 \cdot 0,36 \cdot 10^{-6} \cdot 0,8} = 17,3 \text{ МПа},$$

где $l_{\text{из}} = 1,5 \text{ м.}$ - длина пролета;

$a = 0,8 \text{ м.}$ - расстояние между фазами;

$k_{\text{ф}} = 0,65$ - коэффициент формы, определяется по кривым в справочнике.

$k_{\text{расп}} = 1$ - коэффициент, зависящий от расположения проводников, определяется по справочнику

$\lambda = 12$ коэффициент, зависящий от условия закрепления шины определяемый по справочнику»[6]

« W – момент сопротивления поперечного сечения шины находится по следующей формуле.»[6]

$$W = \frac{hb^2}{6}; \quad (5.16)$$

$$W = \frac{6 \cdot 0,6^2}{6} = 0,36 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

Исходя из этого, делаем вывод – шины механически прочны, так как

$$17,3 \text{ МПа} < 80 \text{ МПа},$$

5.6 Выбор изоляторов

Жесткие шины монтируются на опорных изоляторах. Сделаем проверку изолятора ИОР-10-7.5 УХЛ2, высота этого изолятора $H_{\text{из}} = 1,2 \text{ м.}$ Изолятор служит для укрепления и изоляции в распред устройствах и электрических аппаратах токоведущих частей.

Проверка соответствия опорных изоляторов выполняется по следующим критериям:

- 1) Номинальное напряжение:

$$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}}$$

$$6\text{кВ} \leq 10\text{кВ}$$

- 2) Допустимая нагрузка на головку опорного изолятора.

Максимальная нагрузка вычисляется по формуле

$$F_{\text{расч}} = \sqrt[3]{\frac{i_{\text{el}}^2}{a}} k_{\phi} \cdot k_{\text{расч}} \cdot l_{\text{из}} \cdot 10^{-7}, \quad (5.17)$$

$$F_{\text{расч}} = \sqrt[3]{\frac{15370^2}{0,8}} 0,6 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 10^{-7} = 45,9\text{Н},$$

Размеры, внешний вид опорного изолятора представлены на рис. 5.5 (ИОР-10-7,5 II УХЛ2)

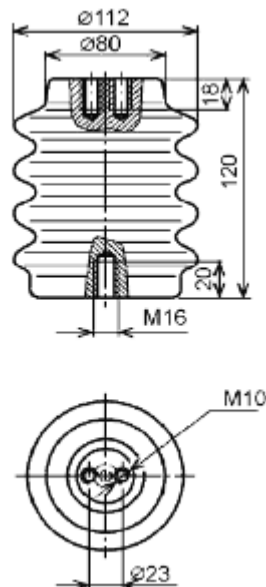


Рисунок 5.5 – Размеры, внешний вид опорного изолятора ИОР-10-7.5 II УХЛ2

$$F_{\text{доп}} = 0,6 \cdot F_{\text{разр}} \frac{H_{\text{из}}}{H}; \quad (5.18)$$

$$F_{\text{доп}} = 0,6 \cdot 7500 \frac{0,120}{0,156} = 3529\text{Н};$$

«где $F_{\text{разр}}$ – минимальное разрушающее усилие на изгиб, по данным из каталогов;»[6]

$H_{\text{из}}$ – высота изолятора;

$$H = H_{\text{из}} + b + \frac{h}{2}; \quad (5.19)$$

$$H = 0.120 + 0.006 + 0.03 = 0.156 \text{ мм};$$

Необходимо, чтобы выполнялось условие:

$$F_{\text{расч}} \leq F_{\text{дон}},$$

$$45,9H \leq 3529 H,$$

Т.к. условие выполняется, принимаем данный изолятор.

6 Релейная защита и автоматика

«Релейная защита представляет собой группу объединённых автоматических устройств, которые предназначены для определения и отделения повреждённых элементов в случае аварии, от электроэнергетической системы. Целью релейной защиты (РЗ) является обеспечение нормальной работы всей системы. Релейная защита должна осуществлять постоянный контроль состояния всех элементов электроэнергетической системы и реагировать на все возникшие повреждения и ненормальные режимы. При обнаружении повреждений релейная защита должна определить поврежденный участок и отключить его от электроэнергетической системы.»[21]

Расчет наибольшей токовой защиты от перегрузок, уставок реле:

-Первичный номинальный ток уже известен, он равный $I_H=91,6\text{A}$

-Первичный расчетный ток

$$I_{cp} = \frac{\kappa_H \cdot m_{CH}}{\kappa_B} \cdot I_H; \quad (6.1)$$

$$I_{cp} = \frac{1,2 \cdot 2,5}{0,8} \cdot 91,6 = 343,5\text{A};$$

-Ток уставки реле

$$i_{cp} = \frac{\kappa_{CH} \cdot I_{cp}}{n_T}; \quad (6.2)$$

$$i_{cp} = \frac{\sqrt{3} \cdot 343,5}{80} = 7,43\text{A};$$

«Где κ_{CH} принимаем за корень из 3х

n_T -коэффициент трансформации равный 80».[2]

В каждой камере КСО-298 РП-16 устанавливается микропроцессорное устройство релейной защиты - «Сириус 21-Л». Внешний вид «Сириус 21-Л» изображен на рисунке 6.1.



Рисунок 6.1 - МПУ «Сириус 21-Л»

Микропроцессорное устройство (МПУ) дистанционно отслеживает параметры защиты и дистанционное управление. МПУ «Сириус 21-Л» хорошо зарекомендовало себя на других объектах АО «ОРЭС-Тольятти». К положительным качествам данного МПУ можно отнести и относительную малую стоимость, это не маловажно при выборе МПУ релейной защиты.

«МПУ «Сириус 21-Л» имеет следующие защитные функции:

- логическую защиту шин;
- выдача сигнала пуска максимальной токовой защиты (МТЗ), для организации логической защит шин;
- трехступенчатую МТЗ от междуфазных повреждений, с контролем двух или трех фазных токов;
- защиту от обрыва фазы;
- автоматический ввод ускорения любых ступеней МТЗ при любом включении выключателя;»[21]

Автоматические функции МПУ «Сириус 21-Л»:

- возможность подключения внешних защит;
- исполнение внешних команд на включение и отключение выключателя;

- вывод сигнала устройства резервирования при отказе своего выключателя;
- исполнение входного сигнала УРОВ при отказах нижестоящих выключателей.

МПУ «Сириус 21-Л» имеет ряд дополнительных диагностических функций:

- обозначение вида повреждения при срабатывании МТЗ;
- измерения времени срабатывания защиты и отключения выключателя;
- запись токов в момент аварии;
- измерения текущих фазных токов;
- цифровой осциллограф и регистратор событий.

«МПУ «Сириус 21-С» выполняет необходимые эксплуатационные возможности:

- сохранение и ввод уставок защит и автоматики;
- контроль положения выключателя, а также контроль состояния цепей управления;
- трансляцию параметров аварии, ввод и замена уставок по линии связи;
- непрерывный мониторинг работоспособности;
- при неисправности устройства выполнение блокировки всех выходов, эта опция необходима для устранения ложных срабатываний;
- задание внутренней конфигурации;
- высокое сопротивление и прочность изоляции входов и выходов относительно корпуса и между собой;
- получение дискретных сигналов управления и блокировок, выдачу команд управления, аварийной и предупредительной сигнализации.» [21]

7 Выбор трансформатора собственных нужд РП-16.

В зависимости от типа и мощности распределительной подстанции эл.питание собственных нужд (СН), а именно: освещение распределительного устройства, отопление ячеек КРУ и т.д. происходит от одного или 2-х установленных трансформаторов в зависимости от значимости потребителей СН. Необходимо отметить, что мощность трансформаторов СН на подстанции не может быть больше 63 кВА.

Для обеспечения безопасности от короткого замыкания трансформатор СН 0.4 кВ подключают к шинам 6 кВ через предохранитель ПКТ-104.

Для подбора трансформатора СН и определения его необходимой мощности определим суммарную мощность всех потребителей и учтем коэффициент загрузки.

В таблице 7.1 - Состав и мощности электроприемников СН

Потребитель	Общая мощность СН, кВт
Отопление	6
Освещение	1
Эксплуатационные нагрузки	20
Итого	27
С учетом коэффициента загрузки $K_z = 0,7$	
Итого	18,9

На нашем объекте имеется встроенная трансформаторная подстанция ТП-157 в которой установлены ТСН-25кВА. На основании полученных в подсчетах данных, мы не будем устанавливать свои трансформаторы СН. А необходимую мощность возьмем оттуда.

8 Размещение и монтаж

Камеры КСО-298 предназначены для работы в закрытых помещениях со следующими характеристиками:

- t окружающей среды не ниже -25°C (min значение);
- t окружающей среды не выше $+40^{\circ}\text{C}$ (max значение);
- влажность воздуха 98% относительная при температуре $+25^{\circ}\text{C}$;
- среда окружающая:
 - невзрывоопасная;
 - не содержит агрессивных паров, газов, разрушающих металлы и изоляцию;
 - не содержит токопроводящую пыль;

РУ КСО-298 является цельной конструкцией, выполненной из камер, соединённых между собой. «В состав каждой камеры входят уже установленные аппараты, приборы автоматики и измерения, также приборы релейной защиты, автоматики и управления.

Поставка КСО-298 осуществляется отдельными камерами или блоками, включающими в себя до 3-х камер, в каждой из которых уже имеются соединения главных и вспомогательных цепей, а также части стыковок блоков и камер в распределительное устройство.»[18]

Все выводы и вводы - кабельные. «Заливка для камер фундамента осуществляется на одном уровне. Установка камер осуществляется с помощью приваривания закладных элементов фундамента через 4 отверстия. Ввод в камеру прокладывается в кабельных каналах, расположенных внизу камеры. Конструкция КСО-298 предназначена для подключения не более шести 1-жильных высоковольтных кабелей сечением до 500 мм^2 или трех 3-х жильных высоковольтных кабелей сечением 240 мм^2 .»[18]

«Заземление камер осуществляется путем присоединения шин заземления к камере болтом заземления. Для металлических частей оборудования,

находящегося внутри камеры, а также для открытых металлических элементов, к которым возможно прикосновение, обеспечен электрический контакт с металлокаркасами камер КСО с использованием зубчатых шайб или шинок заземления.»[18]

«Указанные камеры выполнены из листовых панелей толщиной 2-3 мм. Все детали защищены от коррозии с помощью специального полимерного или гальванического покрытия.»[18] С передней части камеры предусмотрены дверцы для доступа к электрическим аппаратам, расположенные внутри. На верхней и задней стенке ячейки размещены линейные разъединители и шинные заземлители. На передней панели находятся приводы данных аппаратов. У каждого привода есть два положения включения и отключения. Предусмотрено запираание привода на навесной замок.

Для блокировки предусмотрена возможность установки электромагнитных замков. Блокировка приводов разъединителя механически связана с силовым валом выключателя, что полностью исключает возможность работы с ножами заземлителей и разъединителей при отключённом выключателе.

К сборным шинам доступ возможен через специальную решетку которая защищает от случайного контакта.

Шины расположены в верхней части камеры. Установлены шины вертикально, начиная с находящееся в непосредственной близости к передней стенки камеры фазы С, а затем шины В и А.

Выключатель смонтирован в камере стационарно. Управление выключателем производится с лицевой стороны камеры. Для того, чтобы проникнуть в блок управления требуется снятие защитного кожуха, который выступает за пределы фасада камеры. Кроме этого в камере предусмотрено снятие блока выключателя для его ремонта, в случае выхода из строя. Для снятия выключателя с целью ремонта требуется открутить болт крепления и соединение шин из 12и болтов.

В камерах КСО-298 имеются механические блокировки, которые расположены в пределах одной камеры и не допускают проведение таких неверных действий, как:

- включение или отключение разъединителя, в тот период времени, когда выключатель находится во включённом положении;

- выключение или включение заземляющих ножей, когда включен разъединитель или выключатель.

9 Заземление и молниезащита.

Для защиты человека от удара электрическим током, от удара молний, от волн проходящих в линии согласно ПУЭ7 все ТП и РП должны быть заземлены. Для этих целей прокладывают внешний и внутренний контур заземления. Так как ТП и РП сильно не отличаются по своей специфике, рассмотрим общий случай. Система заземления состоит из внешнего, внутреннего контура и молниезащиты.

Внешний контур заземления представляет собой замкнутую систему с несколькими вертикальными электродами. За электроды принимаем уголок стальной равнополочный 50*50*5мм. Укладывают наружный контур по периметру здания подстанции на расстоянии 1м. Интервал между электродами 3м. Полоса заземлителя представляет из себя стальную полосу которая ставится на ребро в траншее глубиной 0,7м. Удельное сопротивление грунта принимаем $R_{гр}=700 \text{ Ом.м.}$

Найдем по формуле 9.1 допустимое сопротивление:

$$R_3 = \frac{R_{гр}}{100} \cdot R_3 \quad (9.1)$$

$$R_3 = \frac{300}{100} \cdot 10 = 700 \text{ Ом.}$$

По формуле 9.2 найдем «сопротивление растеканию вертикального заземления:»[15]

$$R_B = \frac{0,366 \cdot \rho_{расч.в}}{l} \cdot \lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l}, \quad (9.2)$$

$$R_B = \frac{0,366 \cdot 1400}{3} \cdot \lg \frac{2 \cdot 3}{0,95} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2,1 + 3}{4 \cdot 2,1 - 3} = 438,95 \text{ Ом.}$$

«где $l=3\text{м}$ - длина вертикального заземления;
 d -диаметр стержневого заземления, для уголка $q = 0,95b, \text{м}$;» [15]

$$\rho_{\text{расч.в}} = k_c \cdot \rho_{\text{гр}}, \quad (9.3)$$

$$\rho_{\text{расч.в}} = 2 \cdot 700 = 1400 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

«где $k_c=2$ -коэффициент сезонности;» [15]

$$t' = t_0 + \frac{1}{2}l, \quad (9.4)$$

$$t' = 0,6 + 1,5 = 2,1 \text{ м},$$

« t_0 -глубина вершины вертикального заземлителя, м.» [15]

Расчет вертикальных заземлителей, количества:

$$n_{\text{в}} = \frac{R_{\text{в}}}{\eta_{\text{в}} \cdot R_3}, \quad (9.5)$$

$$n_{\text{в}} = \frac{438,95}{0,5 \cdot 70} = 13,55 \text{ шт.}$$

«где $\eta_{\text{в}}=0,5$ -коэффициент использования вертикальных заземлителей, установленных по контуру.»[15]

Количество вертикальных заземлителей берем равное 14шт.

Длину горизонтального заземления рассчитываем по формуле 9.6.

$$l_{\text{г}} = a \cdot n_{\text{в}}, \quad (9.6)$$

$$l_{\text{г}} = 3 \cdot 14 = 42 \text{ м.}$$

Сопротивление растеканию горизонтального заземления:

$$R_{\text{г}} = \frac{0,366 \cdot \rho_{\text{расч.г}}}{l_{\text{г}}} \cdot \lg \frac{2l_{\text{г}}^2}{b \cdot t_0}, \quad (9.7)$$

$$R_{\Gamma} = \frac{0,366 \cdot \rho_{\text{расч.Г}}}{42} \cdot \lg \frac{2 \cdot 42^2}{0,04 \cdot 0,7} = 106 \text{ Ом},$$

где $\rho_{\text{расч.Г}}$ рассчитывается по формуле:

$$\rho_{\text{расч.Г}} = k'_c \cdot \rho_{\text{гр}}, \quad (9.8)$$

$$\rho_{\text{расч.Г}} = 4,5 \cdot 700 = 3150 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

«где $k'_c=4,5$ - коэффициент сезонности» [15]

Действительное сопротивление растеканию горизонтального заземлителя рассчитывается по формуле 9.9.

$$R'_{\Gamma} = \frac{R_{\Gamma}}{\eta_{\Gamma}} \quad (9.9)$$

$$R'_{\Gamma} = \frac{106}{0,32} = 331,25 \text{ Ом}.$$

«где $\eta_{\Gamma}=0,32$ -коэффициент использования» [15]

Далее рассчитаем сопротивление растеканию вертикального и горизонтального заземления:

$$R'_B = \frac{R_{\Gamma} \cdot R_3}{R_{\Gamma} - R_3}, \quad (9.10)$$

$$R'_B = \frac{331,25 \cdot 70}{331,25 - 70} = 88,7 \text{ Ом}.$$

По формуле 9.11 перепроверим количество вертикальных заземлителей:

$$n'_B = \frac{R_B}{\eta_B \cdot R'_B}, \quad (9.11)$$

$$n'_B = \frac{438,45}{0,5 \cdot 88,7} = 9,88 \text{ шт.}$$

По итогам расчетов 10шт вертикальных заземлителей будет достаточно.

На крыше укладываем сетку 3*3 метра состоящую из проволоки диаметром 8мм. С противоположных сторон здания выполняем связь кровельного покрытия с внешним контуром заземления. Проходящая по фасаду полоса заземления должна быть защищена от коррозии и механического повреждения.

В РП-16 встроена ТП-157, поэтому в здании 3 помещения. Каждое из этих помещений оборудовано системой контура внутреннего заземления. Все части не находящиеся под напряжением должны соединяться с внутренним контуром заземления. Контур проходит по стенам на высоте 0,4м, закрепляют его держателем К-188 с периодичностью 0,6-1,0м. Переносное заземление соединяется с основной системой с помощью «гайка-барашек». Для визуального контроля за целостностью соединения, гибкие перемычки заземления осуществляется проводом ПВ3 без изоляции.

10 Дуговая защита на РП-16

Дуговая защита одна из разновидностей быстродействующей защиты от короткого замыкания, которое сопровождается открытой электрической дугой.

Устройство применяется для защиты от электрической дуги силового оборудования распределительных электроустановок 0,4-35 кВ.

В РП-16 при реконструкции предусмотрен монтаж дуговой защиты на базе устройства ОВОД-МД. «В распределительном пункте устанавливаются 2 устройства. Первое устройство на 1 и 2 секции шин, второе на 3 и 4 секции шин.»[20] Внешний вид устройства изображен на рисунке 10.1.



Рисунок 10.1- Внешний вид устройства ОВОД-МД

Устройство посредством волоконно-оптических датчиков (далее по тексту ВОД) регистрирует на световую вспышку в инфракрасном диапазоне от электрической дуги, передает сигнал на отключение питающего напряжения. В распределительном устройстве отключением осуществляется защита оборудования от разрушения, сводятся к минимуму и практически исключаются риски повреждения оборудования, а также защита обслуживающего персонала.

«Волоконно-оптические датчики дуговой защиты количеством 62 шт. в РП-16 монтируются: в водных ячейках, на сборных шинах, в отсеках кабельных вводов выводов.»[20] Волоконно-оптический датчик показан на рисунке 10.2.



Рисунок 10.2 - Волоконно-оптический датчик дуговой защиты на основе полимерного кабеля

«Выбор устройства ОВОД-МД обусловлен рядом преимуществ по сравнению с другими видами дуговой защиты.» [20]

Устройство предусматривает непрерывную работу в неотапливаемых помещениях.

В высоковольтных ячейках устанавливаются только пассивные компоненты устройства, которые не реагируют на электромагнитные помехи: объектив ВОД и волоконно-оптический кабель (далее по тексту ВОК). Совместно с гальванической развязкой отдельных входов, выходов и питания, осуществляется высокая защита устройства от помех.

«Для повышения избирательности и надежности команда на отключение силового оборудования осуществляется при совпадении 2-х факторов- световой вспышки от электрической дуги и срабатывания максимальной токовой защиты (далее по тексту МТЗ) без выдержки времени или срабатывания защиты минимального напряжения (далее по тексту ЗМН).»[20]

Устройство выполняет:

- автоматический контроль работоспособности оптоэлектронного тракта (ВОД, блоки фиксации света и тестирования, электронные составляющие в цепях образования сигналов отключения, блок питания);

- подачу команд на отключение выключателей трех ступеней силовых электрических цепей:

 - «1 ступень- выключатель высокого напряжения;

 - 2 ступень- выключатель ввода или секционный выключатель;

 - 3 ступень- выключатель фидерной ячейки.» [20]

- «- установление по номеру датчика отсека ячейки распределительного устройства, в котором развилась электрическая дуга, в результате применения ВОД радиального типа;

- формирование 20 сигналов отключения от 40 групп датчиков и наличие 6 отдельных входов от МТЗ и ЗМН;

- создание гибкой логики работы устройства с корректировкой на месте установки устройства;

- сохранение в памяти устройства при исчезновении питающего напряжения данных о состоянии устройства на момент отключения и выведении устройства в первоначальное состояние при подаче напряжения;

- поддержание рабочего состояния в течении 2 секунд после исчезновения оперативного тока;

 - ввод/вывод из работы любого количества ВОД;

- проверку работы и логики функционирования устройства при производстве пуско-наладочных работ и техническом обслуживании с пульта управления устройства ОВОД-МД (без моделирования световой вспышки от электрической дуги);»[20]

- соединение по стандартным последовательным каналам RS232 с ПК или RS485 с автоматической системой управления, которое позволяет удаленно вести управление и контроль исправность работы устройства;

- автоматическое сохранение временной диаграммы всех поступивших дискретных сигналов при активации: датчиков, входов МТЗ и выходов отключения;
- сбор информации о сигналах отклонения в работе устройства, исчезновении оперативного тока и общего сигнала о включении дуговой защиты;
- индикацию состояния устройства в текущий момент времени;
- часы текущего времени, с возможностью корректировки;
- одновременную защиту 2-х секций;
- защиту от ошибочных срабатываний при освещении волоконно-оптического датчика лампой 60Вт, при выходе из строя соединений и деталей в цепях образования сигналов отключения;
- возможность работы при загрязнении линзы датчика;
- простота установки устройства, датчики устанавливаются без точного направления;
- минимизация материальных потерь при эксплуатации данного устройства.

Заключение

В данной работе произведены описания и расчеты по выбору оборудования для реконструкции РП-16. Рассчитаны токи трёхфазного короткого замыкания, по которым отобраны аппараты и оборудование РП: вакуумные выключатели ВВ/TEL, разъединители марки РВФз, приборы учёта и контроля на подстанции, трансформаторы тока типа ТЛп, шины марки АДЗ1Т и опорные изоляторы марки ИОл, произведены вычисления соответствия трансформатора собственных нужд.

Осуществлен выбор микропроцессорных устройств релейной защиты с необходимым расчетом для неё тока уставок. Проработано размещение и монтаж оборудования и токоведущих частей на РП- 16.

Таким образом, выбранное оборудование для реконструируемого РП–16, отвечает всем необходимым нормативам и требованиям обеспечивает полную защиту от всех непредвиденных режимов работы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Правила устройства электроустановок. Издание 7 [Электронный ресурс] / URL: <https://www.elec.ru> – Яз. рус. (дата обращения 25.02.2018 г.).
2. ГОСТ Р 52736-2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия тока короткого замыкания. Введ. 2007-07-12.–М.: Филиал ОАО«НТЦ электроэнергетики»- ВНИИЭ, МЭИ. 2007.– 44 с.
3. РД 34.20.185-94 Инструкция по проектированию городских электрических сетей.[Электронный ресурс]. изм. 1999г. Москва.
4. Кудрин Б.И. Электроснабжение: Учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования/ Б.И. Кудрин.– М.: ИЦ Академия. 2015.-192с.
5. Неклепаева Б.Н. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования РД 153-34.0.-20.527-98 / под ред. Б.Н. Неклепаева.– М.:Изд-во НЦ ЭНАС. 2006.
6. Степкина Ю.В. Проектирование электрической части понижительной подстанции/ учебно-методическое пособие по выполнению курсового и дипломного проектирования/Ю.В.Степкина,В.М.Салтыков. – Тольятти. 2012-124с.
7. Самолина О.В. Моделирование релейной защиты элементов системы электроснабжения: лабораторный практикум для студентов очной и заочной формы обучения/ О.В.Самолина, С.В. Шаповалов.-Тольстти:ТГУ. 2012.-47с.
8. Салтыкова О.А. Релейная защита понижительной трансформаторной подстанции: учеб. пособие для курсового и дипломного проектирования/О.А. Салтыкова, В.В. Вахнина, О.В. Самолина.-Тольятти:ТГУ. 2012.-47с.

9. Кокин С.Е., Схемы электрических соединений подстанций/ учебное пособие/ С.Е.Кокин, С.А.Дмитриева, И.И. Хальская- Екатеринбург, Издательство Уральского университета. 2015-248с.
10. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение/ учебное пособие/ Ю.Д. Сибикин. М.:Директ- медиа, 2014-156с.
11. Почаевец В.С. Электрические подстанции/Учебник/ В.С. Почаевец— М.: Издательство УМЦ ЖДТ. 2012-491с.
12. Маньков В.Д. Основы проектирования систем электроснабжения/ Учебник /В.Д. Маньков— С.: Прокниг. 2010-214с.
13. Радкевич В.Н. Проектирование систем электроснабжения/ Учебник/ В.Н. Радкевич—М.: Пион. 2009-321с.
14. Макаров Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0.4-0.35 кВ и 110-1150кВ: в 6-ти т./ Е.Ф. Макаров; под ред.гл. специалистов ОАО «Мосэнерго»— М.:Энергия. 2006-698с.
15. Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Защитное заземление и защитное зануление электроустановок: Справочник / В.Д Маньков, С.Ф. Заграничный— СПб.: Политехника. 2005. – 400 с.
16. Герасимова В.Г. Электротехнический справочник: В 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. - 9-е изд., стер. - М.: Издательство МЭИ. 2004. - 964 с.
17. Красник В.В., Эксплуатация электрических подстанций и распределительные устройства: учеб. пособие/ В.В. Красник.— М.: Издательство ЭНАС. 2011.- 320 с.
18. Инструкция по эксплуатации КСО-298 [Электронный ресурс]. М.,2016. [URL:https://energohroekt.su](https://energohroekt.su) (дата обращения 18.02.2018).

19. Кривулец И. Статья: Заземление и молниезащита трансформаторной подстанции.[Электронный ресурс].2017. URL:<https://electricvdome.ru> (дата обращения 10.03.2018).
20. Устройство дуговой защиты «ОВОД-МД». Руководство по применению [Электронный ресурс], С-П.:2017г.URL:<http://energyiand.info> (дата обращения 15.01.2018).
21. Инструкция по эксплуатации «Сириус21-Л» [Электронный ресурс].М.:2015г. URL:<https://e-tmm.tiu.ru/p214297179>
22. Prof. Baosen Zhang. Fundamentals Of Electrical Energy Systems (Power Applications of Electricity)[Электронный ресурс]/ Prof. Baosen Zhang // <http://electrical-engineering-portal.com/download-center/books-and-guides/electrical-engineering/energy-systems> (дата обращения 05.04.18)
23. Edvard C. Lighting Essentials You Can't Deny [Электронный ресурс]/ C. Edvard// ER:Electrical Review.2016. <http://electrical-engineering-portal.com> (дата обращения 01.03.2018)
24. Edvard C. How residual current device (RCD) works?[Электронный ресурс]/ C. Edvard // ER:Electrical Review.2016. <http://electrical-engineering-portal.com/how-residualcurrent-device-rcd-works>(дата обращения 01.03.2018)
25. Edvard C. Maintenance Of Low Voltage Circuit Breakers [Электронный ресурс]/ C. Edvard //ER:Electrical Review.2016. <http://electrical-engineering-portal.com/maintenance-oflow-voltage-circuit-breakers> (дата обращения 01.03.2018)
26. Edvard C. The Case Of Real Time Reactive Compensation[Электронный ресурс]/C. Edvard//ER: Electrical Review.2015.<http://electrical-engineering-portal.com/the-case-of-realtime-reactive-compensation>(дата обращения 01.03.2018)