

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

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование)

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

Электроснабжение
(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение исследовательского центра в г. Тольятти

Студент

Д.С. Липанов
(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., А.Н. Черненко
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультант

к.п.н., доцент А.В. Кириллова
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Аннотация

Ключевым вопросом в бакалаврской работе является проектирование системы электроснабжения научного центра в Автозаводском районе города Тольятти и произвести все нужные для этого расчеты.

Данная работа состоит из 54 листов, включая введение, семь глав, заключение, 14 таблиц, 8 рисунков, список литературы, включая зарубежные источники, и графическая часть на 6 листах формата А1.

Был произведен расчет по определению ожидаемых нагрузок. Был произведен выбор числа и мощности силовых трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности. Был также произведен выбор оборудования сети, расчет токов короткого замыкания, выполнен выбор устройств релейной защиты и автоматики.

Питание трансформаторной подстанции научного центра осуществляется кабелем от линии 10 кВ. Для питания электроприемников выбраны кабели с медными жилами марки ВВГнг-LS и ВВГнг-FRLS. Электрическая сеть защищается устройствами релейной защиты и автоматики.

Расчет токов короткого замыкания был выполнен с учетом методики, рекомендованной ГОСТом 28249- 93 для сетей напряжением до 1 кВ.

Расчеты показали, что максимальное значение ударного тока КЗ наблюдается в точке на контактах ВРУ.

По расчетным ударным токам КЗ в выбранных 2 точках была произведена проверка оборудования.

Также была рассчитана релейная защита и к установке принята Seram 1000+.

Все выбранные выключатели были проверены по расчетным токам короткого замыкания. В результате было установлено, что они удовлетворяют условию по отключающей способности токов КЗ.

Abstract

The key issue of the senior thesis is the design of the power supply system at the Scientific Center in the Avtozavodsky district of Togliatti and make all the necessary calculations.

This work consists of 54 pages, including the introduction, seven parts, a conclusion, 14 tables, 8 drawings, a list of references, including foreign sources, and a graphic part on 6 A1 sheets.

A calculation was carried out to determine the expected loads. The choice of the number and power of transformers was performed taking into account the reactive power compensation. There was also made a choice of network equipment, the calculation of short-circuit currents, the choice of relay protection and automation devices.

The power supply of the transformer substation at the scientific center is carried out by a cable from a 10 kV line. Cables with copper conductors of the VVGng-LS and VVGng-FRLS brands were selected to power the electrical consumers. The electrical network is protected by relay protection and automation devices.

The calculation of short-circuit currents was performed taking into account the methodology recommended by GOST 28249-93 for networks with voltage up to 1 kV.

Calculations have shown that the maximum value of the short-circuit shock current is observed at a point on the ASU contacts.

The equipment was checked according to the calculated short-circuit shock currents at the selected 2 points.

Relay protection was also calculated and Sepam 1000+ was accepted for installation.

In conclusion I'd like to stress that all selected circuit breakers were tested for the rated short-circuit currents. As a result it was found that they satisfy the condition for the breaking capacity of the short-circuit currents.

Содержание

Введение	6
1 Краткая характеристика объекта проектирования	7
2 Определение ожидаемых электрических нагрузок по зданию	8
2.1 Определение электрических нагрузок от силовых потребителей	8
2.2 Определение электрических нагрузок освещения	10
2.3 Определение суммарных электрических нагрузок по комплексу	13
3 Выбор числа и мощности трансформаторов на трансформаторной подстанций с учётом компенсации реактивной мощности	14
3.1 Предварительный выбор трансформаторов	14
3.2 Расчет варианта с двумя трансформатором ТМГ-630/10	16
3.3 Расчет варианта с двумя трансформатором ТМГ-1000/10	21
3.4 Сравнение рассмотренных вариантов по приведенным затратам	26
3.5 Выбор комплектной трансформаторной подстанции	26
4 Выбор оборудования сетей внутри здания	27
4.1 Выбор кабельных линий	27
4.2 Выбор распределительного оборудования	31
4.3 Выбор трансформаторов тока	32
4.4 Выбор автоматических выключателей	32
4.5 Выбор кабельной линии на стороне 10 кВ	33
5 Расчёт токов короткого замыкания	34
5.1 Обоснование расчета токов КЗ	34
5.2 Параметры расчета токов КЗ	35
5.3 Расчет токов КЗ	38
5.4 Проверка оборудования	40
6 Расчет и выбор элементов релейной защиты силового трансформатора	41
6.1 Расчет сопротивления схемы замещения	41
6.2 Расчет токов короткого замыкания	42

6.3	Расчет мгновенной токовой отсечки с учетом токов намагничивания трансформаторов	42
6.4	Расчет максимальной токовой защиты	43
6.5	Выбор устройства релейной защиты и автоматики	44
7	Монтаж оборудования	46
7.1	Монтаж заземления	46
7.1.1	Система заземления	46
7.1.2	Монтаж заземления в помещениях	46
7.2	Монтаж силового трансформатора ТМГ-630	47
7.3	Монтаж кабельных линий	49
	Заключение	51
	Список используемых источников	52

Введение

«Начиная с 2000 года, увеличение доли инновационного сектора в экономике России, а также связанные с этим вопросы развития образования и науки рассматриваются как необходимое условие для повышения конкурентоспособности государства.

В связи с этим использование научно-технического и интеллектуального потенциала регионов становится особенно актуальным. Этот постулат лег в основу строительства особых экономических зон с высокой концентрацией научно-технического и интеллектуального потенциала» [1].

Деятельность таких объектов основывается на работе научно-исследовательского оборудования и комплекса вспомогательных систем, обеспечивающих его нормальное функционирование.

Все это в совокупности является мощным приемником электрической энергии.

Поэтому система электроснабжения современного научного центра должна удовлетворять такие требования как ее надежность, безопасность, экологичность, удобство эксплуатации и управления, а также внешняя эстетичность.

В связи с этим целью бакалаврской работы является проектирование системы электроснабжения научного центра.

Задачами работы являются определение электрических нагрузок по зданиям научного центра, выбор числа и мощности трансформаторов, выбор оборудования внутрицеховой сети, расчет токов короткого замыкания.

1 Краткая характеристика объекта проектирования

Научный центр находится на северной окраине Автозаводского района города Тольятти.

Предназначен для разработки новых материалов, энергосберегающих и телекоммуникационных технологий.

В составе комплекса находится два трехэтажных здания с лабораториями, а также трансформаторная подстанция, питающая комплекс.

Электроснабжение осуществляется от главной понизительной подстанции города по кабельной линии 10кВ. Расстояние от ГПП до собственной трансформаторной подстанции — 5 км.

Трансформаторная подстанция от которой осуществляется питание находится на расстоянии 65 м от научного центра.

Потребители по надежности электроснабжения преимущественно относятся ко 2й категории.

К 1 категории относятся пожарная и охранная сигнализация, оборудование дымоудаления, связи и аварийное освещение.

Вывод: В данном разделе была кратко описана характеристика исследовательского центра.

2 Определение ожидаемых электрических нагрузок по зданию

2.1 Определение электрических нагрузок от силовых потребителей

Расчет электрических нагрузок определяем по методу упорядоченных диаграмм. Методика имеет следующий вид:

«1. Все электроприемники разбиваются на характерные группы с однородным режимом работы и объединяются по месту подключения.

2. Для каждой характерной группы определяют:

а) среднюю активную мощность за наиболее загруженную смену группы электроприемников одинакового режима работы

$$P_{срi} = K_u \cdot \sum P_{номi} \quad (1)$$

где $P_{номi}$ - номинальная мощность рабочих электроприемников,

K_u - групповой коэффициент использования.

б) среднюю реактивную мощность за наиболее нагруженную смену для группы электроприемников одинакового режима работы:

$$Q_{срi} = \sum P_{срi} \cdot \operatorname{tg} \phi \quad (2)$$

где $\operatorname{tg} \phi$ - соответствует групповому коэффициенту мощности.

3. Находят суммарную среднюю нагрузку по месту подключения электроприемников:

$$P_{ср\Sigma} = \sum_k P_{срi} ; \quad (3)$$

$$Q_{ср\Sigma} = \sum_k Q_{срi} . \quad (4)$$

4. Определяют средневзвешанный коэффициент использования для рассматриваемой группы электроприемников:

$$K_{иср} = \frac{P_{ср\Sigma}}{\sum P_{ном}} \quad (5)$$

5. Определяется эффективное или приведенное число электроприемников в группе $n_э$. Если в результате расчета получили, что $n_э > n$, то $n_э = n$.

6. По упорядоченным диаграммам определяют коэффициент максимума:

$$K_M = f(K_{исрi}, n_э) \quad (6)$$

7. Определяется расчетная нагрузка» [2]:

$$P_p = K_M \cdot P_{ср\Sigma} ; \quad (7)$$

$$Q_p = K_M \cdot Q_{ср\Sigma} \quad (8)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (9)$$

где $K_M = 1,1$, если $n_э < 10$; $K_M = 1$, если $n_э > 10$.

Расчеты нагрузок по корпусам сведем в таблицу 1 и 2.

Таблица 1 - Расчет нагрузок по корпусу А

Электроприемники	$P_p, кВт$	$Q_p, квар$
Первый этаж	149,2	92,46
Второй этаж	74,3	46,04
Третий этаж	71,6	44,37
Кровля	91,7	56,83
Итого	386,8	302,7

Таблица 2 - Расчет нагрузок по корпусу Б

Электроприемники	$P_p, кВт$	$Q_p, квар$
Первый этаж	149,2	92,46
Второй этаж	74,3	46,04
Третий этаж	71,6	44,37
Кровля	91,7	56,83
Итого	386,8	302,7

2.2 Определение электрических нагрузок освещения

«Расчет осветительной нагрузки производится при помощи программного обеспечения DIALux 4.7 Lite.

DIALux - программа для расчёта и дизайна освещения, она разрабатывается с 1994 года DIAL GmbH (DeutscheInstitutfürAngewandteLichttechnik) - Немецким Институтом Прикладной Светотехники. Программа распространяется бесплатно и может использовать данные осветительного оборудования любых изготовителей, у которых имеются электронные базы светильников в формате, поддерживаемом программой DIALux» [3, 9].

В соответствии со строительными нормами и правилами проектирования освещения от 23.05.95, выбирается освещенность в помещениях лабораторного комплекса, необходимая для технологического процесса.

В качестве примера проведем расчет необходимого числа светильников для лабораторного помещения. Требуемая освещенность 500лк[17]. Выбранный тип светильников КРК 2х36. Получаем следующую картограмму освещенности в виде изолиний:

Получаем, что необходимое число светильников 20 с потребляемой мощностью 1,44кВт.

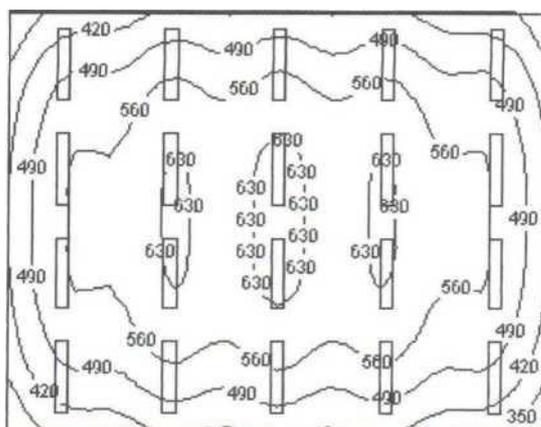


Рисунок 1 - Картограмма освещенности

Подобным способом произведем расчет для каждого помещения, полученные результаты по этажу сводим в таблицу 3.

Таблица 3 - Мощность, затрачиваемая на освещение 1 этажа корпуса А

Тип помещения	№ помещения	$P_{\text{ср}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{ср}}, \text{квар}$
Переход	1	0,026	0,016
Тамбур	2	0,032	0,019
Коридор	4	0,026	0,016
Лаборатория	5	1,152	0,713
Лаборатория	6	1,44	0,892
Лаборатория	7	1,44	0,892
Вестибюль	8	0,026	0,016
Лаборатория	10	1,152	0,713
Коридор	11	0,078	0,048
Тамбур	12	0,032	0,019
Лаборатория	13	1,44	0,892
Помещение уборочного инвентаря	14	0,072	0,044
Санузел мужской	15	0,013	0,008
Санузел женский	16	0,013	0,008
Тамбур-шлюз	17	0,013	0,008
Тамбур-шлюз	18	0,013	0,008
Гардероб женский	19	0,026	0,16
Душевая	20	0,032	0,19

Продолжение таблицы 3

Санузел	21	0,013	0,008
Душевая	22	0,032	0,019
Санузел	23	0,013	0,008
Гардероб мужской	24	0,026	0,016
Санузел для инвалидов	25	0,013	0,008
Кладовая спецодежды	26	0,072	0,044
Гардероб	27	0,036	0,022
Электрощитовая	28	0,144	0,089
Кладовая инвентаря	29	0,072	0,044
Кроссовая	30	0,018	0,011
Вестибюль	31	0,13	0,080
Тамбур	32	0,078	0,048
Помещение охраны	33	0,048	0,029
Коридор	34	0,032	0,019
Вентиляционная камера	35	0,144	0,089
Воздухозаборная шахта	36	0,026	0,016
Переход	37	0,032	0,019
Тамбур	38	0,052	0,032
Итого		8,007	4,962

Подобным способом произведем расчет для всех этажей, полученные результаты сведем в таблицу 4.

Таблица 4 - Мощность, затрачиваемая на освещение корпуса А

Электроприемники	$P_p, кВт$	$Q_p, квар$
Первый этаж	9,367	5,802
Второй этаж	9,7	6,01
Третий этаж	10,02	6,2
Итого	29,087	18,012

Аналогичным способом произведем расчет для корпуса Б, полученные результаты сведем в таблицу 5.

Таблица 5 - Мощность, затрачиваемая на освещение корпуса Б

Электроприемники	$P_p, кВт$	$Q_p, квар$
Первый этаж	9,367	5,802
Второй этаж	9,7	6,01
Третий этаж	10,02	6,2
Итого	29,087	18,012

«Мощность аварийного освещения принимается равной 10% от общей активной мощности осветительной нагрузки» [3, 10].

2.3 Определение суммарных электрических нагрузок по комплексу

«Найдем суммарную активную нагрузку» [3]:

$$P_{\Sigma} = P_p + 1,1P_{осв} ; \quad (10)$$

$$P_{\Sigma} = 773,6 + 1,1 \cdot 58,174 = 837,591 \text{ кВт.}$$

«Найдем суммарную реактивную нагрузку» [3, 11]:

$$Q_{\Sigma} = Q_p + Q_{осв} ; \quad (11)$$

$$Q_{\Sigma} = 605,4 + 36,024 = 641,424 \text{ квар.}$$

Определяем суммарный ток:

$$Q_{\Sigma} = \frac{S_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_H} ; \quad (12)$$

$$Q_{\Sigma} = \frac{1054,98}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1602,87 \text{ А.}$$

Вывод: В разделе была определена суммарная нагрузка научного центра.

3 Выбор числа и мощности трансформаторов на трансформаторной подстанции с учётом компенсации реактивной мощности

3.1 Предварительный выбор трансформаторов

Электроприемники I и II категории рекомендуется обеспечивать питанием от двух независимых, взаимнорезервирующих источников питания. При нарушении электроснабжения от одного из источников питания для электроприемников I категории допустимы перерывы электроснабжения на время автоматического восстановления питания, для электроприемников II категории допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала [12].

«Таким образом, к установке принимается двухтрансформаторная подстанция.

Мощность одного трансформатора, $kB \cdot A$, при условии полной компенсации реактивной мощности определяется условием

$$S_{н.т.} \geq \frac{P_p}{N \cdot K_3}; \quad (13)$$

$$S_{н.т.} \geq \frac{837,6}{2 \cdot 0,7} = 598,28 \text{ кВА.}$$

где P_p - суммарная расчетная мощность по КТП, кВт; N - количество трансформаторов на КТП, шт.; K_3 - коэффициент загрузки трансформаторов, о.е.; при нагрузках I и II категории принимается $K_3 = 0,7$.

Для установки выбираются либо трансформаторы ТМГ-1000/10, либо трансформаторы ТМГ-630/10 со схемой соединения обмоток звезда-звезда с глухим присоединением нейтрали.

Предварительная проверка по допустимой перегрузке трансформатора ТМГ-1000/10 осуществляется по соотношению» [3]:

$$1,4 \cdot S_n \geq P_p; \quad (14)$$

$$1,4 \cdot 1000 = 1400 \geq 837,6.$$

Условие по максимальной перегрузке выбранного ранее силового трансформатора типа ТМГ-1000/10 выполнено.

Найдем значение действительного коэффициента загрузки СТ типа ТМГ-1000/10 при загрузке его только активной мощностью:

$$K_{з.д.} = \frac{P_p}{N \cdot S_{н.м.}}; \quad (15)$$

$$K_{з.д.} = \frac{837,6}{2 \cdot 1000} = 0,41;$$

Условие проверки на допустимость перегрузки СТ типа ТМГ-630/10:

$$1,4 \cdot S_n \geq P_p; \quad (16)$$

$$1,4 \cdot 630 = 882 \geq 837,6.$$

Условие по максимальной перегрузке выбранного ранее силового трансформатора типа ТМГ-630/10 выполнено.

Найдем значение действительного коэффициента загрузки СТ типа ТМГ-630/10 при загрузке его только активной мощностью [13]:

$$K_{з.д.} = \frac{P_p}{N \cdot S_{н.м.}}; \quad (17)$$

$$K_{з.д.} = \frac{837,6}{2 \cdot 630} = 0,66;$$

3.2 Расчет варианта с двумя трансформаторами ТМГ 630/10

Паспортные данные на силовой трансформатор типа ТМГ-630/10-11 сведены в таблицу 6.

Таблица 6 - Паспортные данные на силовой трансформатор типа ТМГ-630/10-11

$P_{xx}, \text{кВт}$	$P_{кз}, \text{кВт}$	K_3	$U_{кз}, \%$	$S_n, \text{кВА}$	$I_{xx}, \%$
0,94	7,6	0,70	5,5	630	1,6

Определим потери активной и реактивной мощности в СТ.

Значение потерь активной мощности в СТ:

$$\Delta P_{m\Sigma} = 2 \cdot (P_{xx} + K_3^2 \cdot P_{кз}); \quad (18)$$

$$\Delta P_{m\Sigma} = 2 \cdot (0,94 + 0,7^2 \cdot 7,6) = 6,664 \text{ кВт}.$$

Значение потерь реактивной мощности в СТ:

$$\Delta Q_{m\Sigma} = 2 \cdot (I_{xx} + K_3^2 \cdot U_{кз}) \cdot \frac{S_n}{100}; \quad (19)$$

$$\Delta Q_{m\Sigma} = 2 \cdot (1,6 + 0,7^2 \cdot 5,5) \cdot \frac{630}{100} = 54,1 \text{ квар}.$$

Значение суммарной активной нагрузки цеха с учетом активных потерь в СТ [14]:

$$P_{общ} = P_{расч} + \Delta P_{m\Sigma}; \quad (20)$$

$$P_{общ} = 837,6 + 6,664 = 844,264 \text{ кВт}.$$

Значение суммарной реактивной нагрузки цеха с учетом реактивных потерь в СТ:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{расч}} + \Delta Q_{\text{т}\Sigma}; \quad (21)$$

$$Q_{\text{общ}} = 641,424 + 54,1 = 695,524 \text{ квар.}$$

Значение реактивной мощности во время минимума нагрузки СТ:

$$Q_{\text{мин}} = \frac{Q_{\text{общ}}}{2}; \quad (22)$$

$$Q_{\text{мин}} = \frac{695,524}{2} = 347,762.$$

Выражение для определения экономического значения реактивной мощности в период максимальной нагрузки ЭЭС [15]:

$$Q'_{\text{э1}} = Q_{\text{общ}} - 0,7 \cdot Q_{\text{сд}}; \quad (23)$$

$$Q''_{\text{э1}} = \alpha \cdot P_{\text{общ}}.$$

«где $Q_{\text{сд}}$ - реактивная мощность, генерируемая синхронными двигателями, ввиду установки конденсаторных батарей принимается равной 0, α - расчетный коэффициент, соответствующий установленным предприятию условиям получения от энергосистемы мощностей, определяется согласно [4] и для регионов Средней Волги принимается равным 0,28 при высшем напряжении 110 кВ» [3].

Тогда:

$$Q'_{\text{э1}} = 695,524 - 0,7 \cdot 0 = 695,524 \text{ квар};$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0,28 \cdot 844,264 = 236,39 \text{ квар.}$$

Принимаем: $Q''_{\text{э1}} = 236,39 \text{ квар.}$

«Экономически обоснованные значения реактивной мощности в

режиме наименьших нагрузок» [6, 16]: $Q'_{32} = Q_{мин} = 347,762$ квар.

$$Q''_{32} = Q_{мин} - (Q_{общ} - Q_{31}); \quad (24)$$

$$Q''_{32} = 347,762 - (695,524 - 236,29) = -111,3 \text{ квар.}$$

Принимаем: $Q'_{32} = Q_{мин} = 347,762$ квар.

Найдем общую мощность КУ:

$$Q_{КУ.мах} = 1,1 \cdot Q_{общ} - Q_{31}; \quad (25)$$

$$Q_{КУ.мах} = 1,1 \cdot 695,524 - 236,29 = 528,68 \text{ квар};$$

$$Q_{КУ.мин} = Q_{мин} - Q_{32}; \quad (26)$$

$$Q_{КУ.мин} = 347,762 - 347,762 = 0 \text{ квар.}$$

Таким образом, все УКРМ должны регулироваться.

Величина реактивной мощности, которая передается из сети напряжением 10 кВ в сеть 0,4 кВ без компенсации:

$$Q_{эн} = Q_{31} - (Q_{общ} - Q_{расч}); \quad (27)$$

$$Q_{эн} = 236,39 - (695,524 - 641,42) = 182,29 \text{ квар.}$$

Величина реактивной мощности, которая передается из сети напряжением 10 кВ в сеть 0,4 кВ [18]:

$$Q_m = \sqrt{(N \cdot K_z \cdot S_{ном.т})^2 - P_{расч}^2}; \quad (28)$$

$$Q_m = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 837,6^2} = 276 \text{ квар.}$$

Установленная мощность низковольтных КУ:

$$Q_{KV.n} = Q_{расч} - Q_m; \quad (29)$$

$$Q_{KV.n} = 641,42 - 276 = 365,42 \text{ квар.}$$

Принимается одна регулируемая УКРМ УК-0,38-320 с номинальной реактивной мощностью 320 квар.

Установленная мощность высоковольтных КУ:

$$Q_{KV.в} = Q_{KV.max} - Q_{KV.n}; \quad (30)$$

$$Q_{KV.в} = 528,68 - 365,42 = 163,26 \text{ квар.}$$

Так как полученное значение, $Q_{KV.n} < 800 \text{ квар}$ то размещение высоковольтных УКРМ является нецелесообразным.

Приведенные затраты на установку КТП:

$$Z_{КТП} = E \cdot K_{КТП} + C \cdot \Delta P_m; \quad (31)$$

где $E=0,223$, $K_{КТП}=664348$ руб. - стоимость КТП, $C \cdot \Delta P_T$ - стоимость потерь мощности в трансформаторах.

$$C \cdot \Delta P_m = C_0 \cdot \Delta P_{xx} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{кз}; \quad (32)$$

$$C_0 = \left(\frac{\alpha}{T_m} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot T_p;$$

$$C = \left(\frac{\alpha}{T_m} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot \tau.$$

«где α - основная ставка двухставочного тарифа, руб/кВт - плата за 1кВт максимальной нагрузки; β - дополнительная плата за 1кВтч потребленной электроэнергии; T_m - время использования максимальной нагрузки предприятия в год, принимается равным 3200ч.; T_p - время работы трансформатора в году, принимается равным 8760ч; τ - время максимальных

потерь» [7].

$$\tau = (0,124 + \frac{T_m}{10000})^2 \cdot 8760; \quad (33)$$

$$\tau = (0,124 + \frac{3200}{10000})^2 \cdot 8760 = 3889,4 \text{ ч.}$$

Тогда:

$$C_0 = (\frac{301,2}{3200} + 0,594 \cdot 10^{-2}) \cdot 8760 = 876,21 \frac{\text{руб}}{\text{кВт}}$$

$$C = (\frac{301,2}{3200} + 0,594 \cdot 10^{-2}) \cdot 3889,4 = 389,19 \frac{\text{руб}}{\text{кВт}}$$

$$C_0 \cdot \Delta P_{xx} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{кз} = 876,21 \cdot 0,94 + 389,19 \cdot 0,7^2 \cdot 7,6 = 2272,98 \text{ руб};$$

$$З_{кшт} = 0,223 \cdot 664348 + 2272,98 = 150422,58 \text{ руб.}$$

Приведенные затраты на установку КУ:

$$З_{кв} = E \cdot K_y \cdot N_{кв}; \quad (34)$$

где $K_y = 21\,050,00$ руб. - удельная стоимость КУ, согласно [4]; $N_{кв}$ - число конденсаторных установок.

Таким образом:

$$З_{кв} = 0,223 \cdot 21050 = 4694,15 \text{ руб.}$$

«Суммарные затраты на КТП и КУ» [4, 20]:

$$З_{\Sigma} = З_{кшт} + З_{кв}; \quad (35)$$

$$З_{\Sigma} = 150422,58 + 4694,15 = 155116,73 \text{ руб.}$$

3.3 Расчет варианта с двумя трансформаторами ТМГ 1000/10

Паспортные данные на силовой трансформатор типа ТМГ-1000/10-11 сведены в таблицу 7.

Таблица 7 - Паспортные данные на силовой трансформатор типа ТМГ-1000/10-11

$P_{xx}, \text{кВт}$	$P_{кз}, \text{кВт}$	K_3	$U_{кз}, \%$	$S_n, \text{кВА}$	$I_{xx}, \%$
1,55	10,80	0,70	5,5	1000	1,2

Определим потери активной и реактивной мощности в СТ.

Значение потерь активной мощности в СТ:

$$\Delta P_{m\Sigma} = 2 \cdot (P_{xx} + K_3^2 \cdot P_{кз}); \quad (36)$$

$$\Delta P_{m\Sigma} = 2 \cdot (1,55 + 0,7^2 \cdot 10,8) = 13,684 \text{ кВт}.$$

Значение потерь реактивной мощности в СТ [21]:

$$\Delta Q_{m\Sigma} = 2 \cdot (I_{xx} + K_3^2 \cdot U_{кз}) \cdot \frac{S_n}{100}; \quad (37)$$

$$\Delta Q_{m\Sigma} = 2 \cdot (1,2 + 0,7^2 \cdot 5,5) \cdot \frac{1000}{100} = 77,9 \text{ квар}.$$

Значение суммарной активной нагрузки цеха с учетом активных потерь в СТ:

$$P_{общ} = P_{расч} + \Delta P_{m\Sigma}; \quad (38)$$

$$P_{общ} = 837,6 + 13,684 = 851,284 \text{ кВт}.$$

Значение суммарной реактивной нагрузки цеха с учетом реактивных потерь в СТ:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{расч}} + \Delta Q_{\text{т}\Sigma}; \quad (39)$$

$$Q_{\text{общ}} = 641,424 + 77,9 = 719,324 \text{ квар.}$$

Значение реактивной мощности во время минимума нагрузки СТ [22]:

$$Q_{\text{мин}} = \frac{Q_{\text{общ}}}{2}; \quad (40)$$

$$Q_{\text{мин}} = \frac{719,324}{2} = 359,662.$$

Выражение для определения экономического значения реактивной мощности в период максимальной нагрузки ЭЭС:

$$Q'_{\text{э1}} = Q_{\text{общ}} - 0,7 \cdot Q_{\text{сд}}; \quad (41)$$

$$Q''_{\text{э1}} = \alpha \cdot P_{\text{общ}}.$$

«где $Q_{\text{сд}}$ - реактивная мощность, генерируемая синхронными двигателями, ввиду установки конденсаторных батарей принимается равной 0, α - расчетный коэффициент, соответствующий установленным предприятию условиям получения от энергосистемы мощностей, определяется согласно [4] и для регионов Средней Волги принимается равным 0,28 при высшем напряжении 110 кВ» [3].

Тогда:

$$Q'_{\text{э1}} = 719,324 - 0,7 \cdot 0 = 719,324 \text{ квар};$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0,28 \cdot 851,284 = 238,359 \text{ квар.}$$

Принимаем: $Q''_{\text{э1}} = 238,359 \text{ квар.}$

«Экономически обоснованные значения реактивной мощности в

режиме наименьших нагрузок»: $Q'_{\text{э}2} = Q_{\text{мин}} = 359,662 \text{ квар.}$

$$Q''_{\text{э}2} = Q_{\text{мин}} - (Q_{\text{общ}} - Q_{\text{э}1}); \quad (42)$$

$$Q''_{\text{э}2} = 359,662 - (719,32 - 238,359) = -111,3 \text{ квар.}$$

Принимаем: $Q'_{\text{э}2} = Q_{\text{мин}} = 359,662 \text{ квар.}$

Найдем общую мощность КУ:

$$Q_{\text{КУ.макс}} = 1,1 \cdot Q_{\text{общ}} - Q_{\text{э}1}; \quad (43)$$

$$Q_{\text{КУ.макс}} = 1,1 \cdot 719,32 - 238,359 = 552,893 \text{ квар.};$$

$$Q_{\text{КУ.мин}} = Q_{\text{мин}} - Q_{\text{э}2}; \quad (44)$$

$$Q_{\text{КУ.мин}} = 359,662 - 359,662 = 0 \text{ квар.}$$

Таким образом, все УКРМ должны регулироваться.

Величина реактивной мощности, которая передается из сети напряжением 10 кВ в сеть 0,4 кВ без компенсации [23]:

$$Q_{\text{э}н} = Q_{\text{э}1} - (Q_{\text{общ}} - Q_{\text{расч}}); \quad (45)$$

$$Q_{\text{э}н} = 238,359 - (719,32 - 641,42) = 160,46 \text{ квар.}$$

Величина реактивной мощности, которая передается из сети напряжением 10 кВ в сеть 0,4 кВ:

$$Q_m = \sqrt{(N \cdot K_z \cdot S_{\text{ном.т}})^2 - P_{\text{расч}}^2}; \quad (46)$$

$$Q_m = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 837,6^2} = 1122 \text{ квар.}$$

Установленная мощность низковольтных КУ:

$$Q_{\text{КУ.н}} = Q_{\text{расч}} - Q_m; \quad (47)$$

$$Q_{\text{КУ.н}} = 641,42 - 1122 = -480,58 \text{ квар.}$$

Установленная мощность высоковольтных КУ:

$$Q_{KV.6} = Q_{KV.max} - Q_{KV.H}; \quad (48)$$

$$Q_{KV.6} = 552,893 + 480,58 = 1033,47 \text{ квар.}$$

Так как полученное значение, $Q_{KV.H} < 800 \text{ квар}$ то размещение высоковольтных УКРМ является нецелесообразным.

Принимается две регулируемые УКРМ УК-10,5-450 с номинальной реактивной мощностью 900 квар.

Приведенные затраты на установку КТП:

$$Z_{КТП} = E \cdot K_{ТП} + C \cdot \Delta P_m; \quad (49)$$

где $E=0,223$, $K_{ТП}=982044$ руб. - стоимость КТП, $C\Delta P_T$ - стоимость потерь мощности в трансформаторах.

$$C \cdot \Delta P_m = C_0 \cdot \Delta P_{xx} + C \cdot K_z^2 \cdot \Delta P_{кз}; \quad (50)$$

$$C_0 = \left(\frac{\alpha}{T_m} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot T_p; \quad (51)$$

$$C = \left(\frac{\alpha}{T_m} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot \tau. \quad (52)$$

«где α - основная ставка двухставочного тарифа, руб/кВт - плата за 1кВт максимальной нагрузки; β - дополнительная плата за 1кВтч потребленной электроэнергии; T_m - время использования максимальной нагрузки предприятия в год, принимается равным 3200ч.; T_p - время работы трансформатора в году, принимается равным 8760ч; τ - время максимальных потерь» [3].

$$\tau = (0,124 + \frac{T_m}{10000})^2 \cdot 8760; \quad (53)$$

$$\tau = (0,124 + \frac{3200}{10000})^2 \cdot 8760 = 3889,4 \text{ ч.}$$

В соответствии с [5] для Самарской области значение a принимается равным 301,2 руб/кВт, значение принимается равным 0,594 руб./ кВт ч.

Тогда:

$$C_0 = (\frac{301,2}{3200} + 0,594 \cdot 10^{-2}) \cdot 8760 = 876,21 \frac{\text{руб}}{\text{кВт}}$$

$$C = (\frac{301,2}{3200} + 0,594 \cdot 10^{-2}) \cdot 3889,4 = 389,19 \frac{\text{руб}}{\text{кВт}}$$

$$C_0 \cdot \Delta P_{xx} + C \cdot K_z^2 \cdot \Delta P_{кз} = 876,21 \cdot 1,55 + 389,19 \cdot 0,7^2 \cdot 10,8 = 3417,71 \text{ руб};$$

$$Z_{кпп} = 0,223 \cdot 982044 + 3417,71 = 222413,52 \text{ руб.}$$

«Приведенные затраты на установку КУ» [4]:

$$Z_{кв} = E \cdot K_y \cdot N_{кв}; \quad (54)$$

где $K_y = 39\,950,00$ руб. - удельная стоимость КУ, согласно [4]; $N_{кв}$ - число конденсаторных установок.

Таким образом:

$$Z_{кв} = 0,223 \cdot 39950 \cdot 2 = 18817,7 \text{ руб.}$$

«Суммарные затраты на КТП и КУ» [4]:

$$Z_{\Sigma} = Z_{кпп} + Z_{кв}; \quad (55)$$

$$Z_{\Sigma} = 222413,52 + 18817,7 = 241231,22 \text{ руб.}$$

3.4 Сравнение рассмотренных вариантов по приведенным затратам

Приведенные затраты на установку 2х силовых трансформаторов типа ТМГ-630/10 и одной регулируемой УКРМ типа УК-0,38-320 равны 155116,73 руб.

Приведенные затраты на установку 2х силовых трансформаторов типа ТМГ- 1000/10 и двух регулируемых УКРМ типа УК-10,5-450 равны 241231,22 руб.

По наименьшим приведенным затратам выбираем вариант с двумя трансформаторами ТМГ-630/10.

3.5 Выбор комплектной трансформаторной подстанции

Была выбрана к установке комплектная трансформаторная подстанция КТПШ промышленная производства «Электрощит» города Самара, предназначенная для приёма, преобразования и распределения электроэнергии трёхфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц, напряжением 10/0,4 кВ.

Вывод: в разделе были выбраны на основе наименьших приведенных затрат силовые трансформаторы для установки на КТП и устройства компенсации реактивной мощности.

4 Выбор оборудования сетей внутри здания

4.1 Выбор кабельных линий

«Для каждой группы электроприемников определяется номинальный рабочий ток согласно формуле» [6]:

$$I_p = \frac{\sqrt{P_n^2 + P_n^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38}; \quad (56)$$

- Ввод ВРУ 1:

$$I_p = \frac{\sqrt{208,19^2 + 208,19^2 \cdot 0,62^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 372,61 \text{ A};$$

Ввод ВРУ 2:

$$I_p = \frac{\sqrt{209^2 + 209^2 \cdot 0,62^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 374,06 \text{ A};$$

- Шкаф АВР:

$$I_p = \frac{\sqrt{35,9^2 + 35,9^2 \cdot 0,62^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 64,25 \text{ A};$$

- Щит освещения 1.1:

$$I_p = \frac{\sqrt{9,367^2 + 9,367^2 \cdot 0,62^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 16,74 \text{ A};$$

- Шкаф распределительный 1.1:

$$I_p = \frac{\sqrt{68,9^2 + 68,9^2 \cdot 0,62^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 123,17 \text{ A};$$

- Шкаф распределительный встроенный на 1 этаже:

$$I_p = \frac{\sqrt{53,3^2 + 53,3^2 \cdot 0,62^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 95,28 \text{ A};$$

- Щит аварийного освещения 1.1. Так как щиты аварийного освещения всех этажей запитаны от одного кабеля, то протекаемый ток через этот кабель:

$$I_p = \frac{\sqrt{2,3^2 + 2,3^2 \cdot 0,62^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 4,1 \text{ A};$$

- Шкаф распределительный силовой на 1 этаже:

$$I_p = \frac{\sqrt{22,4^2 + 22,4^2 \cdot 0,62^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 40,04 \text{ A};$$

- Шкаф распределительный комплексный на 1 этаже:

$$I_p = \frac{\sqrt{3,6^2 + 3,6^2 \cdot 0,62^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 6,4 \text{ A};$$

- Щит освещения 2.1:

$$I_p = \frac{\sqrt{9,7^2 + 9,7^2 \cdot 0,62^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 17,34 \text{ A};$$

- Щит распределительный 2.1:

$$I_p = \frac{\sqrt{74,3^2 + 74,3^2 \cdot 0,62^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 132,82 \text{ A};$$

- Щит аварийного освещения 2.1. Так как щиты аварийного освещения второго и третьего этажа запитаны от одного кабеля, то протекаемый ток через этот кабель:

$$I_p = \frac{\sqrt{1,2^2 + 1,2^2 \cdot 0,62^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 2,1 \text{ A};$$

- Щит освещения 3.1:

$$I_p = \frac{\sqrt{9,7^2 + 9,7^2 \cdot 0,62^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 17,34 \text{ A};$$

- Щит распределительный 3.1:

$$I_p = \frac{\sqrt{74,3^2 + 74,3^2 \cdot 0,62^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 132,82 \text{ A};$$

- Щит аварийного освещения 3.1:

$$I_p = \frac{\sqrt{0,5^2 + 0,5^2 \cdot 0,62^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 0,9 \text{ A};$$

- Лифт

$$I_p = \frac{\sqrt{4,6^2 + 4,6^2 \cdot 1,16^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 10,7 \text{ A};$$

- Дымоудаление:

$$I_p = \frac{\sqrt{3^2 + 3^2 \cdot 0,62^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 5,3 \text{ A};$$

- Чиллер:

$$I_p = \frac{\sqrt{88,7^2 + 88,7^2 \cdot 0,62^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 158,56 \text{ A}.$$

Согласно [3] выбираются сечения кабеля, исходя из расчетных значений токов для электроприемников. Результаты выбора заносятся в таблицу 8.

Таблица 8 - Выбор кабельных линий

Электроприемник	Расчетный ток, А	Марка кабеля
Ввод ВРУ 1	372,61	АПВБбШв 4x120
Ввод ВРУ 2	374,06	АПВБбШв 4x120
Шкаф АВР	64,25	ВВГнг-LS 5x25
Щит освещения 1.1	16,74	ВВГнг-LS 5x6
Шкаф распределительный 1.1	123,17	ВВГнг-LS 5x70
Шкаф распределительный встроенный	95,28	ВВГнг-LS 5x50
Щит аварийного освещения 1.1	4,1	ВВГнг-FRLS 5x4
Шкаф распределительный силовой	40,04	ВВГнг-LS 5x10
Шкаф распределительный комплексный	6,4	ВВГнг-LS 5x2.5
Щит освещений 2.1	17,34	ВВГнг-LS 5x6
Шкаф распределительный 2.1	132,82	ВВГнг-LS 5x70
Щит аварийного освещения 2.1	2,1	ВВГнг-FRLS 5x4

Щит освещения 3.1	17,34	ВВГнг-LS 5x6
Шкаф распределительный 3.1	119,77	ВВГнг-LS 5x70

Продолжение таблицы 8

Щит аварийного освещения 3.1	0,9	ВВГнг-FRLS 5x4
Лифт	10,7	ВВГнг-LS 5x4
Дымоудаление	5,3	ВВГнг-FRLS 5x2.5
Чиллер	158,56	ВВГнг-LS 5x120

Для монтажа выбран кабель типа ВВГнг. ВВГнг - многожильный кабель с медными жилами, изоляция которого не поддерживает горение при групповой прокладке (изоляция кабеля ВВГ не поддерживает горение только при одиночной прокладке). Кабель выпускается округлой, так и плоской формы сечения.

Аббревиатура ВВГнг расшифровывается следующим образом:

В - ПВХ изоляция;

В - ПВХ оболочка;

Г - голый, то есть без защитной оболочки;

нг - не распространяющий горение при групповой прокладке.

Для общего монтажа выбран ВВГнг-LS. Здесь LS (low smoke) означает, что изоляция кабеля изготавливается из материалов с низким дымо- и газовыделением. Данный вид кабеля рекомендуется прокладывать в помещениях с массовым пребыванием людей (школы, детсады, общественные учреждение и т.д.).

Для монтажа линий аварийного освещения и дымоудаления выбран кабель ВВГнг-FRLS. Кабель, который не распространяет горение и не содержит галогенов нг-FRLS. FR от английского fire resistant что значит «огнестойкий». [19]

4.2 Выбор распределительного оборудования

Для размещения коммутационного и распределительного оборудования выбираем шкафы марки серии Prizma производства фирмы Schneider Electric.

Шкафы распределительные выбираем навесного исполнения IP31.

Щиты лабораторные выбираем навесного исполнения IP54.

4.3 Выбор трансформаторов тока

«На стороне 10 кВ к установке принимаем трансформатор тока ТП1Л-СЭЩ-10 с коэффициентом трансформации 1000/5, класса точности 0,5; частотой 50 Гц, номинальный первичный ток 1000А, номинальный вторичный ток 5 А» [4].

На стороне 0,4 кВ в ячейке 2 ВРУ, питающей ячейку 1, устанавливаем ТТ типа ТШЛ-СЭЩ 0,66-01 с первичным и вторичным токами 500/5, классом точности 0,5; номинальной частотой 50 Гц.

На стороне 0,4 кВ в ячейке 2 ВРУ, питающей ячейку 3, устанавливаем ТТ типа ТШЛ-СЭЩ 0,66-01 с первичным и вторичным токами 500/5, классом точности 0,5; номинальной частотой 50 Гц.

4.4 Выбор автоматических выключателей

Для защиты электроприёмников применяются автоматические выключатели в литом корпусе Compact NSX производства фирмы Schneider Electric.

Таблица 9 - Выбор автоматических выключателей

Категория электроприемников	Расчетный ток, А	Выбранный выключатель	Уставка теплового расцепителя I_n , А
-----------------------------	------------------	-----------------------	-----------------------------------------

Ячейка 1 ВРУ	307,41	NSX400F	310
Ячейка 3 ВРУ	374,61	NSX400F	380
Щит освещения 1.1	16,74	TM20D NSX100F	20

Продолжение таблицы 9

Шкаф распределительный 1.1	123,17	TM160D NSX160B	125
Щит освещений 2.1	17,34	TM20D NSX100F	20
Шкаф распределительный 2.1	132,82	TM160D NSX160B	135
Щит освещения 3.1	17,34	TM20D NSX100F	20
Шкаф распределительный 3.1	119,77	TM125D NSX160F	125
Чиллер	158,56	TM160D NSX160B	160
Шкаф распределительный встроенный	95,28	TM100D NSX160B	100

4.5 Выбор кабельной линии на стороне 10 кВ

«Выбор сечения кабеля осуществляется по экономической плотности тока:

$$F = \frac{\sqrt{P_{\text{общ}}^2 + (Q_{\text{общ}} - Q_{\text{KV}})^2}}{\sqrt{3} \cdot j \cdot U_n} \quad (57)$$

Экономическая плотность тока согласно [1] для алюминиевых проводников при числе часов использования максимума нагрузки от 3000 до 5000 часов составляет 1,1 А/мм²» [5].

Тогда минимальное сечение жилы кабеля:

$$F = \frac{\sqrt{837,591^2 + (641,424 - 320)^2}}{\sqrt{3} \cdot 1,1 \cdot 10} = 47,144 \text{ мм}^2.$$

К установке принимаем кабель типа АВВГ 3х70.

Вывод: В разделе были рассмотрены варианты кабельных линий, распределительного оборудования, трансформаторов тока, автоматических выключателей, также была выбрана кабельная линия на стороне 10 кВ.

5 Расчёт токов короткого замыкания

5.1 Обоснование расчета токов КЗ

«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 этих коротких замыканий в сети могут быть: повреждения изоляции от частей электрических установок; направленного действия обслуживающего персонала; перекрытия токоведущих частей установки» [6].

Короткие замыкания в сети могут сопровождаться: прекращением питания потребителей, присоединенных к точкам в которых произошло короткое замыкание; нарушением нормальной работы других потребителей, подключенные 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 очень больших значений. Возникающие при этом механические усилия между отдельными токоведущими частями машин, 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» [6].

Все расчёты по определению токов КЗ выполняем по методике, изложенной в ГОСТ 28249 - 93 на расчёты токов КЗ в сетях напряжением до 1 кВ. Значения токов КЗ определяем в точках согласно схеме, приведенной на рисунке 2:

К1 - на вводных контактах РУ 0,4 кВ;

К2 - для самого мощного ЭП (Чиллер);

5.2 Параметры расчета токов КЗ

Базисное напряжение:

$$U_{\phi} = 400 \text{ В.}$$

Средненоминальное напряжение:

$$U_H = 10500 \text{ В.}$$

Система:

Мощность короткого замыкания $S_K=100$ МВА, $U_{HНН} = 10,5$ кВ.

Сопrotивление системы учитывается индуктивным сопротивлением в схеме замещения:

$$X_{c\phi} = \frac{U_{HНН}^2}{S_K} \cdot 10^3; \quad (58)$$

$$X_{c\phi} = \frac{0,4^2}{100} \cdot 10^3 = 1,6 \text{ мОм.}$$

Таблица 10 - Параметры силового трансформатора ТМГ-630

Схема	S_H , кВА	$U_{ВН}$, кВ	$U_{НН}$, кВ	$U_{КЗ}$, %	R_T , мОм	x_T , мОм
Y/Y ₀	630	10	0,4 кВ	5,5	3	14

Таблица 11 - Параметры автоматических выключателей

Тип	R_{AB} , МОм	x_{AB} , МОм
ВА-СЗП-ТS400	0,65	0,17
ВА-СЗП-ТS160	1,2	0,6

Таблица 12 - Параметры кабельных линий

Тип	R , мОм/м	x , мОм/м	Длина кабеля, м
АПВБШв 4x120	0,261	0,06	65
ВВГнг-LS 5x120	0,154	0,08	50

$$R_{кл} = l \cdot R; \quad (59)$$

$$x_{кл} = l \cdot x; \quad (60)$$

$$R_{кл1} = 0,261 \cdot 65 = 16,96 \text{ мОм};$$

$$R_{кл2} = 0,154 \cdot 50 = 7,7 \text{ мОм};$$

$$x_{кл1} = 0,06 \cdot 65 = 3,9 \text{ мОм};$$

$$x_{кл2} = 0,08 \cdot 50 = 4 \text{ мОм}.$$

Таблица 13 - Параметры трансформаторов тока

Тип	R , МОм	x , МОм
ТШЛ-СЭЩ 0,66-01 500/5	0,05	0,07

Активными и индуктивными сопротивлениями обмоток трансформатора тока на высокой стороне пренебрегают, так как его первичный ток более 500 А.

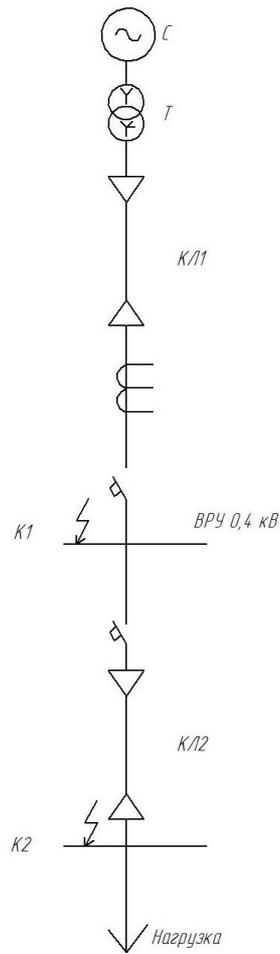


Рисунок 2 – Расчетная схема

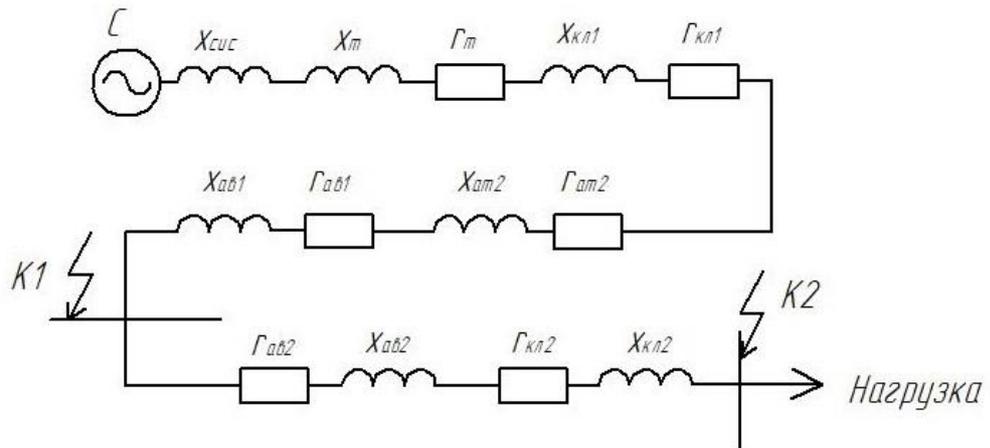


Рисунок 3 – Схема замещения

5.3 Расчет токов КЗ

«Рассчитаем ток короткого замыкания для точки К1. По схеме замещения прямой последовательности суммарные сопротивления $R_{1\Sigma}$, $x_{1\Sigma}$ определяем арифметическим суммированием сопротивлений до точки короткого замыкания» [6]:

$$R_{1\Sigma} = 3 + 16,96 + 0,05 + 0,65 + 1,2 = 21,86 \text{ мОм};$$

$$x_{1\Sigma} = 1,6 + 3,9 + 14 + 0,07 + 0,17 + 0,6 = 20,34 \text{ мОм};$$

«Определим полное суммарное сопротивление до т. К1» [6]:

$$Z_{1\Sigma}^{(3)} = \sqrt{21,86^2 + 20,34^2} = 29,859 \text{ мОм}.$$

«Найдем ток трехфазного металлического КЗ» [6]:

$$I_{KM}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 29,859} = 7,74 \text{ кА}.$$

Ударный ток КЗ найдем по формуле:

$$i_{y\partial.K1} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial.K1} \cdot I_{K1}^{(3)}. \quad (61)$$

где $K_{y\partial}$ находится из графика зависимости $K_{y\partial}$ от x/r , приведенной на рисунке 6.1 [4].

«Находим соотношение» [6]:

$$\frac{x_{\Sigma}^{(3)}}{R_{\Sigma}^{(3)}} = \frac{20,34}{21,86} = 0,93.$$

Этому соотношению соответствует $K_y=1$.

Тогда:

$$i_{y0.K1} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 7,74 = 10,94 \text{ кА.}$$

«Рассчитаем ток короткого замыкания для точки К2. по схеме замещения прямой последовательности суммарные сопротивления $R_{2\Sigma}$, $X_{2\Sigma}$ определяем арифметическим суммированием сопротивлений до точки короткого замыкания» [6, 24]:

$$R_{2\Sigma} = 3 + 16,96 + 0,05 + 0,65 + 1,2 + 7,7 = 29,56 \text{ мОм};$$

$$x_{2\Sigma} = 1,6 + 3,9 + 14 + 0,07 + 0,17 + 0,6 + 4 = 24,34 \text{ мОм};$$

«Определим полное суммарное сопротивление до т. К2» [6]:

$$Z_{2\Sigma}^{(3)} = \sqrt{29,56^2 + 24,34^2} = 38,29 \text{ мОм.}$$

«Найдем ток трехфазного металлического КЗ» [6]:

$$I_{KM}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 38,29} = 6,03 \text{ кА.}$$

Определим соотношение:

$$\frac{x_{\Sigma}^{(3)}}{R_{\Sigma}^{(3)}} = \frac{24,34}{29,56} = 0,82.$$

Этому соотношению соответствует $K_y=1$.

Тогда:

$$i_{\text{уд.к1}} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 6,03 = 8,5 \text{ кА.}$$

Результаты расчетов заносим в таблицу 14.

Таблица 14 – Результаты расчетов токов КЗ

Точка КЗ	Значение тока трехфазного металлического КЗ, кА	Значение ударного тока КЗ, кА
К1	7,74	10,94
К2	6,03	8,5

5.4 Проверка оборудования

«По расчётным значениям ударных токов короткого замыкания в выбранных двух точках проверяем выбранные автоматические выключатели» [7]:

К1 - Выключатель NSX400F проходит проверку, так как его номинальная отключающая способность 85 кА.

К2 — Выключатель TM160D NSX160B проходит проверку, так его номинальная отключающая способность 85 кА.

Вывод: В данном разделе определены значения токов короткого замыкания и проверены на коммутационную способность выбранные автоматические выключатели.

6 Расчет и выбор элементов релейной защиты силового трансформатора

«Требуется установить релейную защиту от токов короткого замыкания и от токов перегрузки, поэтому принимается токовая отсечка и максимальная токовая защита на стороне высшего напряжения. На низшей стороне сеть с глухозаземленной нейтралью, 4-проводная, поэтому все виды защит обеспечивают автоматические выключатели. Так как трансформатор масляный, то также устанавливается газовое реле РГЧЗ-66» [7, 25].

6.1 Расчет сопротивления схемы замещения

Кабельная линия 1 от системы до цеховой трансформаторной подстанции:

$$l = 5000 \text{ м};$$

$$K_{уд1} = 0,000447 \text{ Ом/м};$$

$$X_{уд1} = 0,000082 \text{ Ом/м}.$$

Определим значение сопротивления КЛ от системы до цехового СТ:

$$R_{кл} = l \cdot R; \quad (62)$$

$$x_{кл} = l \cdot x; \quad (63)$$

$$Z_{кл} = \sqrt{R_{кл}^2 + x_{кл}^2}; \quad (64)$$

$$R_{кл} = 0,000447 \cdot 5000 = 2,235 \text{ Ом};$$

$$x_{кл} = 0,000082 \cdot 5000 = 0,41 \text{ Ом};$$

$$Z_{кл} = \sqrt{2,235^2 + 0,41^2} = 2,272 \text{ Ом}.$$

Трансформатор Т1:

ТМГ - 1000/10 - 11; схема соединения обмоток Y/Y₀;

$$S_H = 630 \text{ кВа};$$

$$U_{\text{НВН}} = 10,5 \text{ кВ}; U_{\text{ННН}} = 0,4 \text{ кВ};$$

$$U_K = 5,5 \text{ \%};$$

Полное сопротивление трансформатора составит:

$$Z_m = \frac{U_{\text{кз}} \cdot U_n^2}{S_{\text{ном.т}} \cdot 100}; \quad (65)$$

$$Z_m = \frac{5,5 \cdot 10000^2}{396900 \cdot 100} = 13,85 \text{ Ом.}$$

6.2 Расчет токов короткого замыкания

«Определим ток КЗ на шинах ТП на стороне 10 кВ» [6]:

$$Z_{\Sigma 1} = Z_{\text{кл}} = 2,272 \text{ Ом};$$

$$I_{\text{кз1}} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}}; \quad (66)$$

$$I_{\text{кз1}} = \frac{10500}{\sqrt{3} \cdot 2,272} = 2668 \text{ А.}$$

Рассчитаем ток КЗ за трансформатором ТМГ - 630/10:

$$Z_{\Sigma 2} = Z_{\text{кл}} + Z_m; \quad (67)$$

$$Z_{\Sigma 2} = 2,272 + 13,85 = 16,122.$$

6.3 Расчет мгновенной токовой отсечки с учетом токов намагничивания трансформаторов

«Определим номинальный ток СТ» [6]:

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}; \quad (68)$$

$$I_{ном} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 34 \text{ A.}$$

«Найдем ток срабатывания мгновенной токовой отсечки от БНТ» [6]:

$$I_{co} = 4 \cdot I_{ном}; \quad (69)$$

$$I_{co} = 4 \cdot 36 = 136 \text{ A.}$$

«Определим ток срабатывания мгновенной токовой отсечки от КЗ в конце линии» [6]:

$$I_{co} = 1,5 \cdot I_{кз2}; \quad (70)$$

$$I_{co} = 1,5 \cdot 376 = 564 \text{ A.}$$

Принимаем ток срабатывания МТО равным $I_{co} = 1000 \text{ A}$.

«Определим коэффициент чувствительности МТО» [6]:

$$K_{чувств.} = \frac{I_{кз1}}{I_{co}}; \quad (71)$$

$$K_{чувств.} = \frac{2668}{1000} = 2,668.$$

Условие надежности $K_{чувств.} > 2$ выполняется, следовательно, токовая отсечка срабатывает надежно.

Определены уставки МТО для защиты силового трансформатора КТП.

6.4 Расчет максимальной токовой защиты

Определим ток срабатывания МТЗ:

$$I_{сз} = \frac{k_{сзн} \cdot k_{отс}}{k_{\epsilon}} \cdot I_{ном}; \quad (72)$$

$$I_{сз} = \frac{1,2 \cdot 1,3}{0,8} \cdot 34 = 66,3 \text{ А.}$$

Принимаем ток срабатывания МТЗ равным $I_{сз}=120$, а время срабатывания равным $t = 0,4$ секунды.

«Определим значение коэффициента чувствительности МТЗ» [8]:

$$K_{чувств.} = \frac{I_{кз2} \cdot 0,865}{I_{сз}}; \quad (73)$$

$$K_{чувств.} = \frac{376 \cdot 0,865}{66,3} = 4,9.$$

Условие надежности $K_{чувств.} > 2$ выполняется, следовательно, токовая защита срабатывает надежно.

6.5 Выбор устройства релейной защиты и автоматики

«К установке принимается микропроцессорное реле серии SEPAM 1000+ T20 (защита трансформатора), Sepam 1000+ - это простая и надежная серия цифровых устройств защиты и измерения, предназначенная для использования в распределительных и промышленных сетях среднего напряжения.

Цифровые терминалы серии SEPAM 1000+ обладают всеми стандартными функциями микропроцессорных защит: измерением, релейной защитой, системной автоматикой, самодиагностикой, диагностикой работы

коммутационного аппарата и сети, цифровым осциллографированием и имеют связь с системой АСУ по интерфейсу RS-485 с открытым протоколом MODBUS.

Seram 1000+ открывает новые возможности в части расширения функций простым добавлением модулей и в части интеграции в любую систему диспетчерского управления.

Seram 2000 заменяет такие измерительные приборы, как амперметры, вольтметры, ваттметры, счетчики энергии, приборы измерения температуры и качества электроэнергии. Большая часть информации об измеренных величинах может быть выведена на дисплей устройства Seram. Полная информация, включая результаты измерений, выводимые на дисплей, и дополнительные результаты измерений могут быть выведены на пульт TSM. Указанный переносной пульт предназначен для считывания информации и осуществления регулировки защит. Доступ к регулировке защищен паролем.

Данные устройства имеют модульную конструкцию и программное формирование защит. Использование таких устройств защиты, адаптированных к каждому виду применения, позволяет получить оптимальное соотношение «цена/качество».

В устройстве предусмотрена возможность программирования логики управления, что позволяет обходиться без внешних дополнительных реле» [8, 26].

Вывод: В разделе определен состав и уставки устройств защиты силовых трансформаторов КТП от повреждения токами короткого замыкания.

7 Монтаж оборудования

7.1 Монтаж заземления

7.1.1 Система заземления

Заземление в здании осуществляется по системе TN - C - S - система, у которой нейтраль питающей линии является совмещенным нулевым защитным- PE и нулевым рабочим - N проводником (PEN). В системе TN-C-S все открытые проводящие части электроустановки имеют непосредственную связь с точкой заземления трансформаторной подстанции. Разделение PEN проводника на PE и N проводники происходит непосредственно на ВР.

Принятая к установке система заземления схематично изображена на рисунке 4.

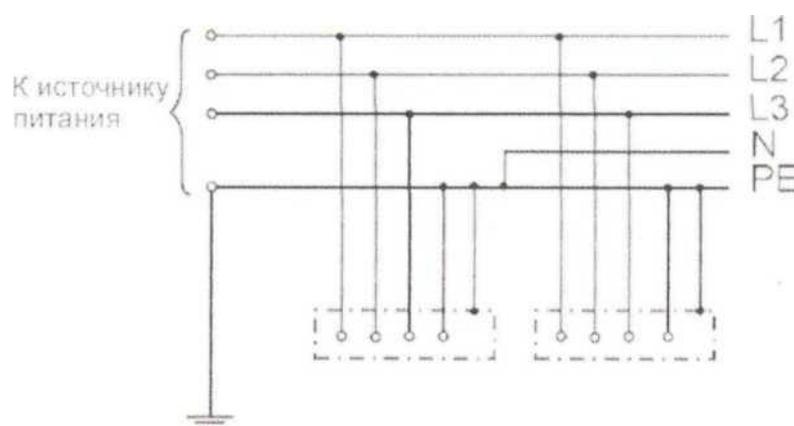


Рисунок 4 - Система заземления TN - C – S

7.1.2 Монтаж заземления в помещениях

«В помещениях с неагрессивной средой в местах, доступных для осмотра и ремонта, выполняем болтовые соединения заземляющих и нулевых защитных проводников при условии, что будут приняты меры против ослабления и коррозии контактных соединений» [8].

Проводники прямоугольного сечения крепим плоскостью к бетонной

стене с помощью строительного монтажного пистолета на высоту от уровня пола помещения —400...600 мм.

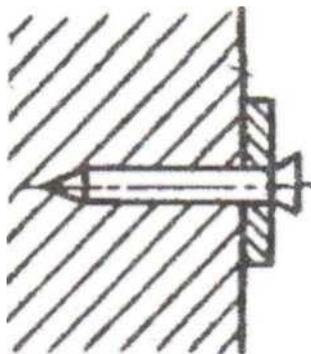


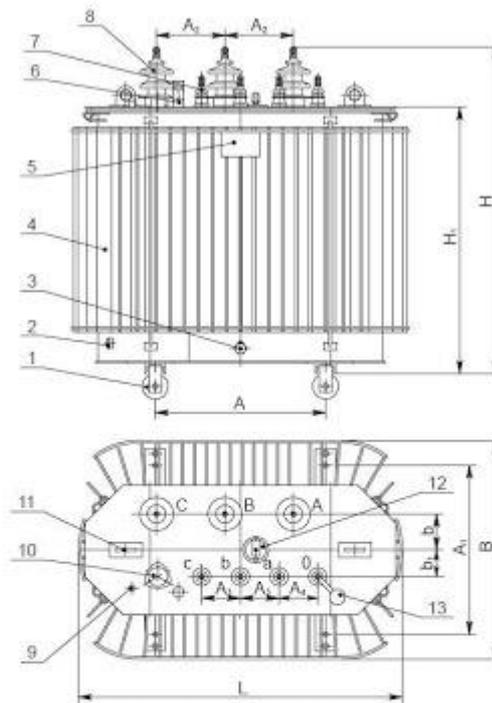
Рисунок 5 - Монтаж заземляющего контура.

7.2 Монтаж силового трансформатора ТМГ-630

«Трехфазные масляные трансформаторы марки ТМГ выполнены в герметичном исполнении. Форма корпуса в виде гофрированного бака, что позволяет обеспечить необходимую поверхность охлаждения без применения съемных охладителей. При применении глубокого вакуума трансформатор полностью заполняют дегазируемым маслом. Для контроля полноты заполнения бака маслом ТМГ снабжены поплавковым указателем красного цвета, расположенным на крышке. При помощи сварного соединения ко дну бака установлены пластины или швеллеры, имеющие отверстия для крепления трансформатора на фундаменте. На швеллера возможна установка переставных транспортных роликов, позволяющих производить продольное или поперечное перемещение трансформатора. В нижней части бака имеются узел заземления и сливная пробка» [8].

Конструкция выбранного трансформатора представлена на рисунке 6.

На рисунке 6: 1-ролик транспортный; 2-зажим заземления; 3-пробка сливания; 4-бак; 5-табличка; 6-маслоуказатель; 7-ввод НН; 8-ввод ВН; 9-гильза термометра; 10-патрубок для заливки масла; И-серьга для подъема трансформатора; 12-переключатель; 13-пробивной предохранитель.



- 1 - рама трансформаторная (устанавливается по заказу потребителя в трансформаторных мощностью 160, 250, 400 кВ·А);
 - 2 - зажим заземления;
 - 3 - провол. слюдяная;
 - 4 - бак;
 - 5 - крышка;
 - 6 - маслоуказатель;
 - 7 - ввод ВН;
 - 8 - ввод ВН;
 - 9 - крышка трансформатора;
 - 10 - ванночка для заливки масла;
 - 11 - серьга для подвеса трансформатора*;
 - 12 - переключатель;
 - 13 - пробивная предохранитель (устанавливается по заказу потребителя)
- * - Трансформатор мощностью 400 кВ·А изготавливается с серьгами для подвеса, расположенными на баке.

Рисунок 6 – Трансформатор силовой марки ТМГ

К монтажу силового трансформатора приступают только после окончания работ по устройству освещения, монтажа заземления, переходных плит проемов в стенах. Монтаж осуществляют в 3 этапа.

На первом этапе осуществляется приемка трансформатора в монтаж.

При полном соответствии и комплектности приступают к следующему этапу.

На втором этапе трансформатор устанавливают в ТП.

На третьем этапе осуществляется непосредственный монтаж трансформатора.

Так как выбранный трансформатор имеет вес менее двух тонн, его допускается устанавливать непосредственно на фундаменте.

Затем выполняют монтаж заземления, защитного зануления и ошиновку трансформатора.

7.3 Монтаж кабельных линий

Прокладка кабеля в общественных зонах выполняется в кабельном лотке. Кабельный лоток — это электротехническое изделие, представляющее собой металлический профиль. Для прокладки рабочего кабеля применяем лоток неперфорированный 200x100мм с крышкой, а для аварийного - неперфорированный 100x50мм с крышкой.

С использованием лотка могут устанавливаться линии напряжением не более 1000 В. Прокладка кабеля в лотках подразумевает его закрепление на протяжении всей трассы. Особое внимание уделяется при вертикальной укладке и на поворотах. Обычно для крепления выпускаются специальные крепежные детали, которые позволяют выполнить работы быстро и получить качественный результат. Лотки используются в различных помещениях, но позволяют убрать линию достаточно высоко, тем самым обезопасить ее от воздействия различных факторов. Толстый и мощный кабель может привлечь ненужное внимание, поскольку внутри его есть металлы, которые достаточно дорого можно сдать в обменных пунктах. Прокладка кабеля должна осуществляться разумно, ведь от ее качества зависит работоспособность многих объектов. Именно поэтому разметку и все монтажные работы лучше доверять компетентным организациям, и не заниматься самодеятельностью.

Монтаж лотка производится на высоте от 4 метров от уровня пола.

Укладка лотка осуществляется на профиль, который с помощью шпилек и забивных анкеров крепится к потолку.

Крепление лотка производится через каждые 2 метра. При пересечении других коммуникаций или при прохождении с ними одного участка лоток размещаем выше этих коммуникаций.

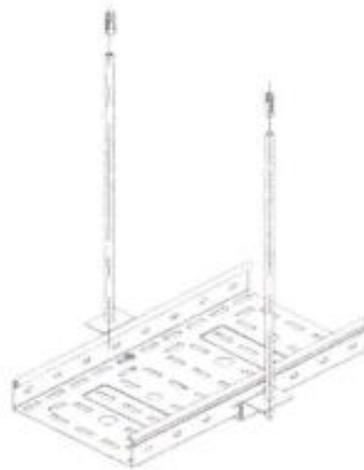


Рисунок 7 - Монтаж кабельного лотка

Прокладка кабеля между этажами осуществляется с помощью лестничного лотка (рисунок 8).

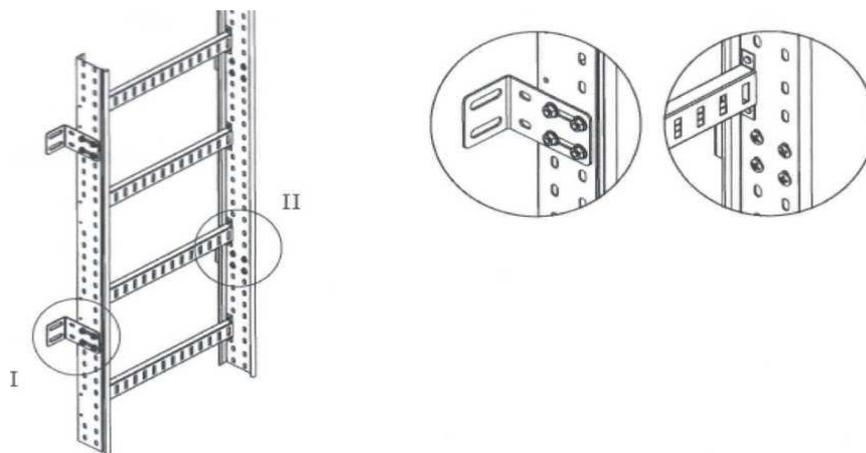


Рисунок 8 – Монтаж лестничного лотка

Прохождение кабеля через железобетонные перекрытия осуществляется в стальных трубах длиной 450мм.

Прокладка кабеля вне лотка осуществляется в гофрированной трубе.

Вывод: В разделе был рассмотрен монтаж заземления, монтаж силового трансформатора ТМГ-630 и монтаж кабельных линий.

Заключение

В бакалаврской работе была спроектирована система электроснабжения научного центра города Тольятти. Нагрузка с учетом освещения составила 1054,98 кВА, расчетный ток $I_p=1602,87$ А. Были предложены 2 варианта установки цеховых трансформаторов:

- 1) Два трансформатора ТМГ-630/10;
- 2) Два трансформатора ТМГ-1000/10.

Сравнивая приведенные затраты, нами был выбран один трансформатор ТМГ-630/10.

Питание научного центра осуществляется кабелем от линии 10 кВ. Электроприемники запитываются через медные кабели марки ВВГнг-LS и ВВГнг-FRLS. Электрическая сеть защищена устройствами релейной защиты и автоматики.

Расчет токов короткого замыкания проводим с учетом методики, рекомендованной ГОСТом 28249- 93 на сеть напряжением до 1 кВ. Расчет проводим в 2 точках схемы:

К1- на контактах ВРУ;

К2 - для самого мощного электроприёмника (Чиллер).

Расчет показал, что максимальное значение ударного тока КЗ в точке на контактах ВРУ.

По расчетным ударным токам КЗ в выбранных 2 точках была произведена проверка оборудования.

Рассчитана релейная защита, к установке принята Seram 1000+.

Все выбранные выключатели удовлетворяют условию отключающей способности токов КЗ.

Список используемых источников

1. Акимова Н.А., Котеленец Н.Ф., Сентюрихин Н.И. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования: Учеб, пособие для сред. проф. образования. 2-е изд., стер. М.: Издательский центр «Академия», 2014. 296 с.

2. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Учебник для вузов. 5-е изд., стер. М.: Высш, шк., 2017. 639 с.: ил.

3. Вахнина В.В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий : учебное пособие. Тольятти : ТГУ, 2016. 69 с.

4. Вахнина В.В. Проектирование систем электроснабжения машиностроительных предприятий : учебное пособие. Тольятти : ТГУ, 2014. 67 с.

5. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2016. 78 с. URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2976/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf (дата обращения: 03.04.2021).

6. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование системы электроснабжения цеха предприятия: методические указания по курсовому проектированию. Тольятти: ТГУ, 2008. 80 с.

7. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Системы электроснабжения [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. 46 с. URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2943/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf (дата обращения: 04.04.2021).

8. Вахнина В.В., Черненко А.Н., Самолина О.В., Рыбалко Т.А. Проектирование осветительных установок [Электронный ресурс]:

электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. 107 с. URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/3383/1/Vahnina%20Chernenko%20Samolina%20Ribalko_%20EUI_Z.pdf (дата обращения: 23.05.2021).

9. Городецкий С. А. Монтаж силовых трансформаторов напряжением до 110 кВ. М. : Энергия, 2012. 79 с.

10. Гужов Н.П., Ольховский В.Я., Павлюченко Д.А. Системы электроснабжения: учебник. Ростов н/Д : Феникс, 2011. 382 с. : ил.

11. Карпов Ф.Ф. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях. М.: Энергия, 2015. 184 с.

12. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 марта 2007 г. М.: КНОРУС, 2017. 488 с.

13. Релейная защита электроэнергетических систем : Учебное пособие / Под ред. А.Ф. Дьякова. 2-е изд., стереот. М.: Издательский дом МЭИ, 2016. 296 с., ил.

14. Рожин А.В., Бакшаева Н.С. Внутрицеховое электроснабжение. Учебное пособие. Киров: Изд-во ВятГУ, 2016. 258 с.

15. Сазонова Т.В., Шлейников В.Б. Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия: учебное пособие. М.: Бибком, 2016. 110 с.

16. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий [Электронный ресурс]: учебник. 5-е изд., перераб. и доп. М. : ИНФРА-М, 2019. 405 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/1003810> (дата обращения: 22.05.2021).

17. Соколов Б. А., Соколова Н. Б. Монтаж электрических установок. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Энергоатомиздат, 2018. 592 с. :

18. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование ОУ и электроустановок промышленных механизмов [Электронный ресурс]: Учебное пособие. 2-е изд. М.:Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2015. 352 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/494251> (дата обращения 07.03.2021).

19. Шлыков С.В., Шаповалов В.А., Шаповалова Н.А. Потребители электрической энергии: учеб, пособие. ТГУ. Тольятти: ТГУ, 2011. 91с.
20. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С., Дубов А.Л. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: учебное пособие. М.: Форум, 2019. 496 с.
21. Электрооборудование жилых зданий / 4-е изд., стер. М.: Издательский дом «Додэка-XX1», 2017. 256 с.
22. Chapman S.J. Instructor's Manual to accompany Electric Machinery and Power System Fundamentals, Second Edition. USA: McGraw-Hill, 2011. 307 p.
23. Kuffel E., Zaengl W.S., Kuffel J. High Voltage Engineering. Fundamentals. Oxford: Newnes, 2014. 539 p.
24. Rajan R., Fernandez F.M. Power control strategy of photovoltaic plants for frequency regulation in a hybrid power system // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. 2019. №110. pp. 171-183.
25. Rajendra P. Fundamentals of electrical engineering. - PHI Learning Pvt. Ltd., 2014. 1064 p.
26. Sahdev S.K. Basic Electrical Engineering. Pearson India, 2015. 768 p.