

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 жилого комплекса «Южный» г. Южно-Сахалинск

Студент

К.О. Кузнецова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

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

Тольятти 2021

Аннотация

В данной выпускной квалификационной работе (ВКР) рассмотрены вопросы электроснабжения потребителей района города с подробным рассмотрением электроснабжения административного офиса связи, разработана схема подстанции и ВРУ офиса связи, выбрано оборудование и коммутационная аппаратура для высоковольтной и низковольтной сети. Произведен выбор элементной базы схемы АВР на стороне 0,4 кВ с учетом надежности электроснабжения.

Рассчитаны токи короткого замыкания, как в высоковольтной, так и в низковольтной сети, рассчитана релейная защита трансформаторов подстанции 10/0,4кВ. Разработана система заземления. Рассмотрены вопросы организационных и технических мероприятий по подготовке рабочего места при ремонте электрооборудования.

Пояснительная записка содержит 85 стр., таблиц 15, источников 25, иллюстраций 15, графического материала формата А1 6 л.

Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика объекта проектирования.....	5
1.1 Характеристика потребителей электроэнергии.....	6
1.2 Выбор номинальных значений напряжений.....	7
2 Разработка системы электроснабжения потребителей.....	8
2.1 Определение расчетных электрических нагрузок потребителей жилого района города.....	8
2.2 Выбор числа и мощности трансформаторов подстанции.....	14
2.3 Расчет и выбор распределительной сети.....	15
2.4 Расчет токов короткого замыкания	20
2.5 Выбор оборудования подстанции.....	24
2.6 Светотехнический расчет.....	32
2.7 Выбор элементной базы схемы АВР на стороне 0,4 кВ с учетом надежности электроснабжения.....	46
2.8 Расчет защит трансформатора.....	64
2.9 Описание схемы электрической принципиальной щита автоматического переключения.....	72
3 Расчет заземления подстанции.....	78
Заключение.....	82
Список используемых источников.....	83

Введение

Электроснабжение объектов недвижимости в городе занимает 40 процентов от всего электропотребления. Эффективность функционирования городских потребителей зависит от их рационального электроснабжения. Введение рынка электроэнергии предполагает снижение затрат на электроэнергию [22].

Цель ВКР: разработка проекта системы электроснабжения потребителей района города с подробным рассмотрением электроснабжения административного офиса связи, обеспечение требуемой надежности электроснабжения электроприемников объекта связи.

Цель определяет следующие задачи:

- определение электрических нагрузок,
- выбор силовых трансформаторов и компенсирующих устройств,
- расчет питающей и распределительной сети,
- разработка вопросов охраны труда.

Актуальность темы ВКР и достоверность используемых методик подтверждается использованием ссылок на опубликованные источники информации [8, 10].

Анализируя основные параметры качества электроэнергии на вводах в здание офиса, можно «отследить» источники возникновения высших гармоник в сети потребителей. Причиной событий, происходящих в сетях среднего напряжения, являются проблемы в электроснабжении, связанные с появлением у электропотребителей офиса связи высших гармоник, провалов напряжения, с проявлениями фликеров. Причина - растущее число компьютеров и их периферийных устройств. В результате многочисленных разветвлений сети электроснабжения офиса возникают блуждающие токи, которые вызывают сбои в сетях передачи данных.

Наличие фликеров приводит к снижению производительности персонала офиса из-за быстрой утомляемости и проблем со здоровьем.

1 Характеристика объекта проектирования

1.1 Характеристика потребителей электроэнергии

Система электроснабжения города – это совокупность электрических сетей и трансформаторных подстанций, расположенных на территории города и предназначенных для электроснабжения его потребителей.

Основные критерии системы электроснабжения города определяются параметрами энергосистемы, размерами объектов электроснабжения, потребительскими характеристиками и др.

Объектом электроснабжения является один из микрорайонов города.

Коммунальные сети потребляют электроэнергию в зависимости от технологического процесса объектов электроснабжения.

Основная группа потребителей в жилой зоне — это жилые дома. Основными потребителями жилых домов являются электрическое освещение и бытовые электроприборы. В микрорайоне расположены жилые 9-этажные здания, которые оборудованы электрическими плитами.

Кроме жилых в микрорайоне есть также общественно - коммунальные здания.

Более подробно в выпускной работе рассмотрено электроснабжение офиса связи.

При проектировании городских электрических сетей должна обеспечиваться надежность сооружаемых элементов сети в соответствии с действующими нормативными документами.

Электроприемники первой категории надежности городского электрохозяйства – это те объекты, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, объектов связи и телевидения, а также опасность для жизни людей, относятся к первой категории по надежности электроснабжения.

Это в первую очередь электроприемники, относящиеся к противопожарным устройствам (пожарные насосы, системы дымоудаления, пожарная сигнализация и системы пожарной сигнализации), аварийное освещение, эвакуационное освещение, учреждения с более чем 2000 сотрудниками.

Абонентами проектируемого офиса связи являются жилые дома и здания социально-бытового назначения. В компании работают более 9 тысяч человек.

Первые введенные проектные решения для офиса связи были осуществлены в 2009 году. Тогда все примененное оборудование системы было иностранного производства.

За последние годы требования нагрузка увеличивалась, изменились, скорость и объемы документационного взаимодействия выросли. В связи с этим система перестала удовлетворять требованиям пользователей.

Компания перешла на новую систему электронного документооборота на базе платформы Docsvision. Проект выполнила компания Digital Design.

Новая СЭД охватывает функции офисной работы и автоматизирует такие бизнес-процессы, как:

- организация встреч и управление ими,
- контроль за исполнением протокольных поручений,
- запросы сотрудников на техническую помощь,
- расходные материалы и др.

В результате были реализованы индивидуальные лицевые аккаунты сотрудников с удобным пользовательским интерфейсом. Нововведение обеспечивает быстрый доступ к информации, позволяет просматривать и скачивать отчеты.

Проектируемое управление связи относится к особой категории надежности ввиду того, что «внезапное отключение электропитания производственного процесса на них определенной продолжительности может привести к пожару, взрыву и другим опасным последствиям». Эта категория

требует безопасного и безотказного завершения производственного процесса или его продолжения даже после неполадок в электросети общего назначения.

Проектируемое управление связи классифицируется как потребитель I и II категории по надежности. Часть электроприемников I категории является электроприемниками особой группы.

Учет таких опций приводит к необходимости оборудовать систему электроснабжения управление связи собственной автономной системой электроснабжения. При перерыве электроснабжения более 5 секунд она должна быть готова к запуску.

1.2 Выбор номинальных значений напряжений

В соответствии с [9] для городской электросети целесообразно использовать систему электроснабжения 110-35 / 10 / 0,4 кВ.

Напряжение 10 кВ принято за основное для городских объектов электроснабжения. В отличие от сетей 6 кВ оно имеет меньшие капитальные вложения и потери.

Трехфазные сети напряжением 10 кВ конструктивно выполняются с изолированной нейтралью. Сети напряжением 380/220 В выполняются с глухим заземлением нейтрали.

На подстанции 10/0,4 кВ применяем трансформатор со схемой соединения обмоток «треугольник – звезда с нулем».

Вывод

Принимаем напряжение распределительной сети офиса 0,38 кВ. Для питающей сети подстанции принимаем 10 кВ.

В соответствии с категорией по надежности необходимо предусмотреть на стороне 0,4 кВ АВР.

2 Разработка системы электроснабжения потребителей

2.1 Определение расчетных электрических нагрузок потребителей жилого района города

Определение расчетных электрических нагрузок потребителей [12] проводим для выбора и проверки аппаратов и кабелей по нагреву.

В последнее время появилась проблема быстрого увеличения потребления электроэнергии в городских сетях и роста плотности нагрузок, которые превышают существовавшие нормативы.

Расчет нагрузки производим от низшей иерархии к низшей. Расчет производим в последовательности:

- расчет нагрузки на вводе каждого потребителя,
- расчет нагрузки отдельных элементов сети.

2.1.1 Расчет электрических нагрузок жилых зданий

При определении экономической мощности жилых зданий необходимо исходить из значительного изменения этих нагрузок в течение дня и в зависимости от времени года. Кроме того, на график нагрузки жилого дома влияют тарифная политика, насыщение электроприборами, а также внешние воздействия и присутствие человека в квартире.

Расчетная активная электрическая мощность квартир, приведенная к вводу жилого дома, без учёта коррелированности индивидуальных нагрузок рассчитывается по выражению:

$$P_{кв} = P_{кв.уд} \cdot n_{кв} \quad (1)$$

где $P_{кв}$ – расчетная активная электрическая мощность квартир;

$P_{кв.уд}$, кВт/квартира - удельная электрическая нагрузка квартир, [12];

n - количество квартир.

Расчетная реактивная электрическая мощность квартир, приведенная к

вводу жилого дома:

$$Q_{кв} = P_{кв.уд} \cdot tg\varphi_{кв} \quad (2)$$

где $Q_{не}$ - расчетная реактивная электрическая мощность квартир;

$tg\varphi_{кв} = 0,2$ - коэффициент реактивной мощности квартир с электрическими плитами [12];

$P_{кв.уд}$, кВт/квартира - удельная электрическая нагрузка квартир,

Кроме мощности квартир в жилом доме необходимо предусмотреть силовую нагрузку. Сюда входят нагрузки лифтов, вентиляторов и проч. В результате суммарная расчетная мощность жилого дома определяется по выражению:

$$P_{р.ж.д} = P_{кв.} + k_y \cdot P_c, \quad (3)$$

$$Q_{р.ж.д} = Q_{кв.} + k_y \cdot Q_c. \quad (4)$$

где $P_{р.ж.д}$ – расчетная активная мощность жилого дома;

$Q_{р.ж.д}$ – расчетная реактивная мощность жилого дома;

$Q_{не}$ – расчетная реактивная электрическая мощность квартир;

$P_{кв.уд}$, кВт/квартира - удельная электрическая нагрузка квартир;

$k_y = 0,9$ – коэффициент участия для силовых электроприемников;

P_c – расчетная активная мощность силовая;

Q_c – расчетная реактивная мощность силовая.

Расчет мощности, приведенной к вводу дома, силовых электроприемников производим по формуле:

$$P_c = P_l + P_{стп}, \quad (5)$$

$$Q_c = Q_l + Q_{стп}. \quad (6)$$

где $P_l = k_c \cdot n_l \cdot P_{ni}$, [кВт] – активная мощность лифтовых установок;

k_c – коэффициент спроса [12];

P_{ni} , [кВт] – установленная мощность электродвигателя лифта;

n_l – количество лифтов жилого дома;

P_{cmy} – удельная активная нагрузка санитарно-технических устройств, определяемая по количеству квартир;

$P_n = k_c \cdot n_l \cdot P_{ni}$, [квар] – реактивная мощность двигателей лифтов;

$tg\varphi_l = 1,17$ – коэффициент мощности двигателей лифтов [12];

Q_{cmy} – удельная реактивная нагрузка санитарно-технических устройств.

Расчет мощности санитарно-технических устройств жилого дома определяем по формуле [12]:

$$P_{cmy} = P_{cmy} \cdot n, \quad (7)$$

$$Q_{cmy} = P_{cmy} \cdot tg\varphi_{cmy}. \quad (8)$$

где $P_{cmy} = 0,05$, кВт/квартира - удельная нагрузка санитарно-технических устройств, определяемая по количеству квартир;

$tg\varphi_{cmy}$ – коэффициент реактивной мощности [12];

n – число квартир жилого дома.

Многоквартирные дома (МКД) этажностью 9 этажей. Определяем [22], что число лифтов в доме с 152 квартирами равно 5. Мощность лифта 3 кВт

Нагрузка силовых электроприемников, приведенная к вводу жилого дома при 5– и лифтах по 3 кВт:

$$P_n = 0,7 \cdot 3 \cdot 5 = 10,5 \text{ кВт}; \quad Q_n = 10,5 \cdot 1,17 = 12,3 \text{ квар};$$

На 10 квартир приходится один ЭД санитарно-технических устройств мощностью 1 кВт.

$$P_{cmy} = 0,05 \cdot 16 = 0,8 \text{ кВт}; Q_{cmy} = 0,8 \cdot 0,75 = 0,6 \text{ квар.}$$

$$P_c = 10,5 + 0,8 = 11,3 \text{ кВт}; Q_c = 12,3 + 0,6 = 12,9 \text{ квар.}$$

В целом для жилого 9-тиэтажного дома электрическая мощность составит:

$$P_{p.ж.д} = 215 + 0,9 \cdot 11,3 = 225,17 \text{ кВт}; Q_{p.ж.д} = 43 + 0,9 \cdot 12,9 = 54,6 \text{ квар};$$

$$S_{p.ж.д} = \sqrt{225,17^2 + 54,6^2} = 231,7 \text{ кВА.}$$

2.1.2 Расчетные электрические нагрузки общественно - коммунальных зданий

Нагрузку общественно-коммунальных зданий рассчитываем по выражению:

$$P_{p.об.зд} = P_{об.зд.уд} \cdot n \quad (9)$$

где $P_{об.зд.уд}$ кВт/место – удельная нагрузка единицы количественного показателя (площадь, рабочее место и т.д.) [10];

n – коэффициент пропускной способности.

Для гаража: $1\text{м}^2 \cdot 0,5 \text{ кВт}$, где 0,5 таблицы 43 ОНТП-01-91 (для РФ)

Результаты расчетов сведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета нагрузок коммунально-бытовых зданий

Электропотребитель	Количественный показатель	tg	$P_{об.зд.уд}$, кВт/место	$P_{об.зд}$ кВт	$Q_{об.зд}$ квар	K_y	$S_{об.зд}$ кВА
Полуподземный гараж	110 м ²	0,62	0,5	55	34.1	0,6	64.7
Детский сад	150 чел	0,2	0,46	69	13.8	0,4	70.36

2.1.3 Расчет нагрузок административного офиса связи и аварийно диспетчерской службы

Вопросы электроснабжения узла связи рассматриваются на основании ВСН 332-93, Приказа № 32 от 13.03.2007г., ПУЭ 6, 7-е Издание.

Проектом предусматривается присоединение управления связи к городской электрической сети напряжением 380\220В при глухом заземлении нейтрали трансформаторов на подстанции, система заземления принята TN-C-S.

Технические характеристики представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики электроприемников офиса

Наименование потребителей	Установленная мощность Руст, кВт	cos φ	к _с
1 этаж			
Компьютер 0,3 кВт (26 шт.)	7,798	0,9	0,9
Принтеры	0,989	0,9	0,7
Местное освещение	0,989	0,9	0,5
Оргтехника, 26 раб. мест	5,394	0,9	0,7
Множительно-копировальная техника	2,10	0,9	0,5
2 этаж			
Компьютер 0,3 кВт (36 шт.)	10,67	0,9	0,9
Принтеры локальные	3	0,9	0,7
Местное освещение зала MSC	0,293	0,9	0,5
Активное оборудование MSC	7,89	0,9	0,9
Местное освещение	1,091	0,9	0,5
Оргтехника, 31 раб. место	6,293	0,9	0,7
Множительно-копировальная техника	1,879	0,9	0,7
3 этаж			
Компьютер 0,3 кВт (38 шт.)	11,293	0,9	0,9
Принтеры	1,091	0,9	0,7
Местное освещение	1,596	0,9	0,5
Оргтехника, 38 раб. мест	7,589	0,9	0,7
Множительно-копировальная техника	2,1	0,9	0,5

Расчет силовой нагрузки проводим методом коэффициента спроса КС (таблица 3).

При расчете руководствуемся «Сводом правил по проектированию и строительству» СП 31-110-2003. [17]

Таблица 3 – Расчетные электрические нагрузки управления связи

Потребители электроэнергии	Активная Руст, кВт	cos φ	к _с	Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
1 этаж						
Компьютер 0,3 кВт (26 шт.)	7,798	0,9	0,9			
Принтеры	0,989	0,9	0,7			
Местное освещение	0,989	0,9	0,5			
Оргтехника, 26 раб. мест	5,394	0,9	0,7			
Множительно-копировальная техника	2,10	0,9	0,5			
Итого по 1 этажу	16,897	0,8	0,66	11,22	8,2	12,46
2 этаж						
Компьютер 0,3 кВт (36 шт.)	10,67	0,9	0,9			
Принтеры локальные	3	0,9	0,7			
Местное освещение зала	0,293	0,9	0,5			
Активное оборудование MSC	7,89	0,9	0,9			
Местное освещение	1,091	0,9	0,5			
Оргтехника, 31 раб. место	6,293	0,9	0,7			
Множительно-копировальная техника	1,879	0,9	0,7			
Итого по 2 этажу	31,298	0,9	0,67	20,7	10,09	22,87
3 этаж						
Компьютер 0,3 кВт (38 шт.)	11,293	0,9	0,9			
Принтеры	1,091	0,9	0,7			
Местное освещение	1,596	0,9	0,5			
Оргтехника, 38 раб. мест	7,589	0,9	0,7			
Множительно-копировальная техника	2,1	0,9	0,5			
Итого по 3 этажу	11,293	0,9	0,66	15,52	7,47	17,27
ИТОГО ПО ЗДАНИЮ:	71,879			47,32	22,8	52,7

Расчетную активную, реактивную и полную нагрузки группы электроприемников определяют по формулам [21]:

$$P_p = k_c \cdot P_{ном}, кВт, \quad (10)$$

$$Q_p = P_p \cdot tg\varphi, квар, \quad (11)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{кВА}. \quad (12)$$

где $\text{tg}\varphi$ соответствует $\text{cos}\varphi$ дано группы электроприемников;

k_c – коэффициент спроса;

$P_{\text{ном.}\Sigma}$ - установленная мощность, кВт (таблица 3);

Основное электрооборудование сконцентрировано в распределительных щитах этажных (ЩЭ1, ЩЭ2, ЩЭ3). Этажные щиты подключаем к вводно-распределительному устройства (ВРУ) [25]. В ВРУ располагаем счетчик активной электроэнергии и автоматические выключатели.

Нагрузка вводно – распределительного устройства (ВРУ) складывается из силовой нагрузки и осветительной нагрузки (см. п. 2.6), а именно:

$$\text{Активная } P_{\text{р.ВРУ}} = P_{\text{р.}} + P_{\text{осв}} \cdot n_{\text{ЭТ}} = 47,32 + 8.53975 \cdot 3 = 72,94 \text{ кВт.}$$

$$\text{Полная } S_{\text{р.ВРУ}} = 72.94 / 0.9 = 81 \text{ кВА.}$$

где $P_{\text{р}}$ – расчетная мощность силовой нагрузки офиса;

$P_{\text{осв}}$ – расчетная мощность осветительной сети одного этажа;

$n_{\text{ЭТ}}$ – количество этажей в офисе;

2.2 Выбор числа и мощности трансформаторов подстанции

Расчетная электрическая нагрузка, приведенная к шинам 0,4 кВ ТП:

$$S_{\text{расч.ТП}} = \sum (k_y \cdot S_{\text{об.зд}}) + S_{\text{жил}}, \quad (13)$$

где $S_{\text{об.зд}}$ – нагрузка общественных зданий, кВА;

$S_{\text{жил}}$ – нагрузка жилых зданий, кВА

k_y – коэффициент участия в максимуме нагрузок.

Нагрузка подстанции микрорайона:

$$S_{расчТП} = 6 \cdot 231,7 + 0,6 \cdot 64,7 + 0,4 \cdot 70,36 + 0,8 \cdot 81 = 1522 \text{ кВА};$$

Найдем мощность трансформаторов ТП [6,14]:

$$S_{тр.расч} = \frac{S_{расчТП}}{K_{з.прин} \cdot 2} = \frac{1522}{0,7 \cdot 2} = 1084 \text{ кВА}. \quad (14)$$

где $S_{расчТП}$ – нагрузка подстанции микрорайона, кВА;

$K_{з.прин}$ – коэффициент загрузки.

Принимаем ближайшую стандартную мощность 1000 кВА.

$$K_{з.действ} = \frac{S_m}{S_{ном} \cdot 2} = \frac{1522}{1000 \cdot 2} = 0,76. \quad (15)$$

где S_m – расчетная мощность;

$S_{ном}$ – номинальная мощность трансформатора.

Принимаем к установке в ТП два трансформатора SCBH15-1000/10 мощностью 1000 кВА каждый. Это трансформаторы с аморфным магнитопроводом производства Чехии [5,20].

2.3 Расчет и выбор распределительной сети

Выполняем электроснабжение сетей 380 В по радиальной схеме кабелем марки ВВГнг–LS. Длительно допустимый расчетный ток линии электроснабжения определяем по выражению:

$$I_{доп.расч} = I_{доп.табл.} \cdot k_3 \cdot k_t \cdot k_n, \text{ А} \quad (16)$$

где $I_{доп.расч}$ – длительно допустимый расчетный ток;

$I_{доп.табл.}$ – длительно допустимый ток кабеля [3, 8];

$k_{з(пер)}$ – коэффициент загрузки трансформатора [3, 8];

k_t – поправочный температурный коэффициент [8];

k_n – коэффициент, учитывающий условия прокладки и число кабелей в одной траншее [8].

Выберем кабель для подключения ВРУ 9-тиэтажного жилого дома.

Расчетный ток кабеля нормального режима рассчитывем по формуле:

$$I_{расч.нр} = \frac{S_{расч}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot n_k}, \text{ А} \quad (17)$$

где $I_{расч.нр}$ – расчетный ток кабеля нормального режима;

$S_{расч}$ – расчетная мощность кабеля, кВА;

$U_{ном.} = 0,38$ кВ, номинальное напряжение сети;

$n_k = 2$ шт., число кабелей.

$$I_{расч.нр} = \frac{231,7}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 2} = 176,2 \text{ А}$$

В послеаварийном режиме ток кабеля составит:

$$I_{расч.п/ав} = 176,2 \cdot 2 = 352,4 \text{ А}$$

В послеаварийном режиме ток кабеля возрастет, тогда с учетом прокладки:

$$I_{дон} \geq \frac{I_{расч.макс}}{\beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot \beta_4} = \frac{352,4}{1,1 \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 0,8} = 381,4 \text{ А}. \quad (18)$$

где $I_{расч.макс}$ – ток кабеля в послеаварийном режиме

при температуре грунта 10^0С – $\beta_1 = 1,1$;

при прокладке в земле – $\beta_3 = 1$;

влияние свойств почвы (для сырой почвы) – $\beta_2 = 1,05$;

количество кабелей в одной траншее – $\beta_4 = 0,8$. – 4шт.

По длительно допустимому выбираем сечение кабеля $F=185\text{мм}^2$ с длительно допустимым током $I_{\text{доп.табл.}}=421\text{А}$.

Результаты расчета и выбора заносим в таблицу 4.

Таблица 4 – Выбор сечений жил кабелей

Начало	Конец	n	$S_{\text{кл,кВ}}$ А	$I_{\text{расч.норм}}$, А	$I_{\text{расч.п/ав}}$ А	$I_{\text{доп.п/ав}}$, А	$I_{\text{доп.табл}}$, А	$F_{\text{расч}}$ мм^2	Тип кабел я
ТП	9- тиэтажн . дом	2	231,7	176,2	352,4	381,4	421	185	ВВГн г 4х185
	Гараж	2	64.7	49.2	98.4	106.9	115	25	ВВГн г 4х25
	Детский сад	2	70.36	53.5	107	116.3	141	35	ВВГн г 4х35
	Офис	2	81	73,3	146,76	159	177	50	ВВГн г 4х50

Подробно рассмотрим расчет распределительной сети для управления связи.

По расчётному току линии определяем номинальные токи автомата $I_{\text{н.а.}}$ и его расцепителей $I_{\text{н.р.}}$ в соответствии с условиями:

$$I_{\text{н.а.}} \geq I_p, \quad (19)$$

$$I_{\text{н.р.}} \geq I_p.$$

Ток срабатывания электромагнитного и теплового расцепителя $I_{\text{ср.э}}$:

$$I_{\text{ср.э}} \geq 1,25 \cdot I_p \quad (20)$$

У всех электроприемников $K_p=5$, тогда можно записать:

$$I_{\text{кр}} = 5 \cdot I_{\text{ср.э.}} = 6,25 \cdot I_p \quad (21)$$

В качестве вводного автоматического выключателя ВРУ с расчетным током по (17) $81/1.73/0.38 = 123\text{А}$ выбираем автоматический выключатель EasyPact EZC630N4160N. Характеристики срабатывания электромагнитного расцепителя $I_{\text{э.р.}} = 1000\text{ А}$ -ток электромагнитного расцепителя.

Занесем выбранные автоматические выключатели и кабели для внутреннего электроснабжения офиса в таблице 5.

Таблица 5 – Выбор кабелей по длительно допустимому току

Электропотребители	Группа, щит	$I_{\text{р.макс}}$, А	Автомат	$I_{\text{ном}}$, А	Тип и сечение кабеля
1 этаж					
Информационно-вычислительная техника, 26ПК*0,3 кВт	Гр1	7.8/0.9/0.22 = 39,4	DPN 1 ф 50 А	50	ВВГнг- HFLTx (3x 10)
Принтеры локальные	Гр2	5	DPN 1 ф	6	ВВГнг- HFLTx (3x1,5)
Местное освещение	Гр3	5	DPN 1 ф	6	ВВГнг- HFLTx (3x1,5)
Оргтехника, 26 раб. мест	Гр4	26.26	DPN 1 ф	32	ВВГнг- HFLTx (3x4)
Электропотребители	Группа, щит	$I_{\text{р.макс}}$, А	Автомат	$I_{\text{ном}}$, А	Тип и сечение кабеля
Множительно-копировальная техника	Гр5	10	DPN 1 ф	12	ВВГнг- HFLTx (3x1,5)
ИТОГО	ЩЭ1	18,96	EZR9 4R	20	ВВГнг- HFLTx (5x2,5)
Информационно-вычислительная техника, 36ПК*0,3 кВт	Гр1	54,54	DPN 1 ф	63	ВВГнг- HFLTx (3x10)
Принтеры локальные	Гр2	15	DPN 1 ф	16	ВВГнг- HFLTx (3x1,5)
Местное освещение зала MSC	Гр3	1,0	DPN 1 ф	1,5	ВВГнг- HFLTx (3x1,5)
Активное оборудование MSC	Гр4	39,4	DPN 1 ф	50	ВВГнг- HFLTx (3x10)
Местное освещение	Гр5	6	DPN 1 ф	8	ВВГнг- HFLTx (3x1,5)
Оргтехника, 31 раб. место	Гр6	31,31	DPN 1 ф	40	ВВГнг- HFLTx (3x6)

Продолжение таблицы 5

Множительно-копировальная техника	Гр7	10	DPN 1 ф	12	ВВГнг- HFLTx (3x1,5)
ИТОГО	ЩЭ2	34,8	EZR9 4R	50	ВВГнг- HFLTx (5x10)
3 этаж					
Информационно-вычислительная техника, 38ПК*0,3 кВт	Гр1	57,57	DPN 1 ф	63	ВВГнг- HFLTx (3x10)
Принтеры локальные	Гр2	5	DPN 1 ф	6	ВВГнг- HFLTx (3x1,5)
Местное освещение	Гр3	7,57	DPN 1 ф	10	ВВГнг- HFLTx (3x1,5)
Оргтехника, 38 раб. мест	Гр4	38,38	DPN 1 ф	50	ВВГнг- HFLTx (3x10)
Множительно-копировальная техника	Гр5	10	DPN 1 ф	12	ВВГнг- HFLTx (3x1,5)
ИТОГО	ЩЭ3	26,19	EZR9 4R	32	ВВГнг- HFLTx (3x4)

Сечение жил кабельных линий 10 кВ выбираются по экономической плотности тока согласно [17]. Экономически целесообразное сечение F , мм², определяется из соотношения:

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_{\text{нб}}}{j_{\text{эк}}}, \quad (22)$$

где $I_{\text{нб}}$ – расчетный ток в нормальном режиме в час максимума системы, А;

$j_{\text{эк}}$ – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм².

Выбираем кабели марки Alcsecure N2XH с изоляцией из сшитого полиэтилена, не распространяющие горение с медными жилами (таблица 5).

Экономическая плотность тока по ПУЭ при числе часов использования максимальной нагрузки от 3000 до 5000 часов в год для кабелей с медными жилами равна 1,7 А/мм².

Расчетный ток в нормальном режиме вычислим по формуле:

$$I_{нб} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}. \quad (23)$$

Расчета тока сети от секции РП до ТП.

$$I_{нб} = \frac{1522}{\sqrt{3} \cdot 10} = 86,6 \text{ А}.$$

Расчетное сечение:

$$F_{эк} = \frac{86,6}{1,7} = 50,9 \text{ мм}^2.$$

Из стандартного ряда сечений выбираем ближайшее значение, для Alcsecure N2XH 70 мм².

2.4 Расчет токов короткого замыкания

2.4.1 Расчет токов короткого замыкания в сети до 1000 В

Питание ВРУ административного здания осуществляется от подстанции 10/0,4 кВ с трансформатором мощностью 1000 кВА. Расстояние от подстанции до управления связи составляет 150 м. По данным энергоснабжающей организации Ск.з на шинах РП-10 равна 200 МВА.

Составим расчетную схему (рисунок 1 а) и схему замещения (рисунок 1 б) для определения тока КЗ на вводе в ВРУ управления связи.

Сопротивление линии 10 кВ и системы не учитываем.

Производим расчет сопротивлений элементов схемы замещения.

Основную часть общего сопротивления цепи КЗ составляет

сопротивление трансформатора мощностью 400 кВА.

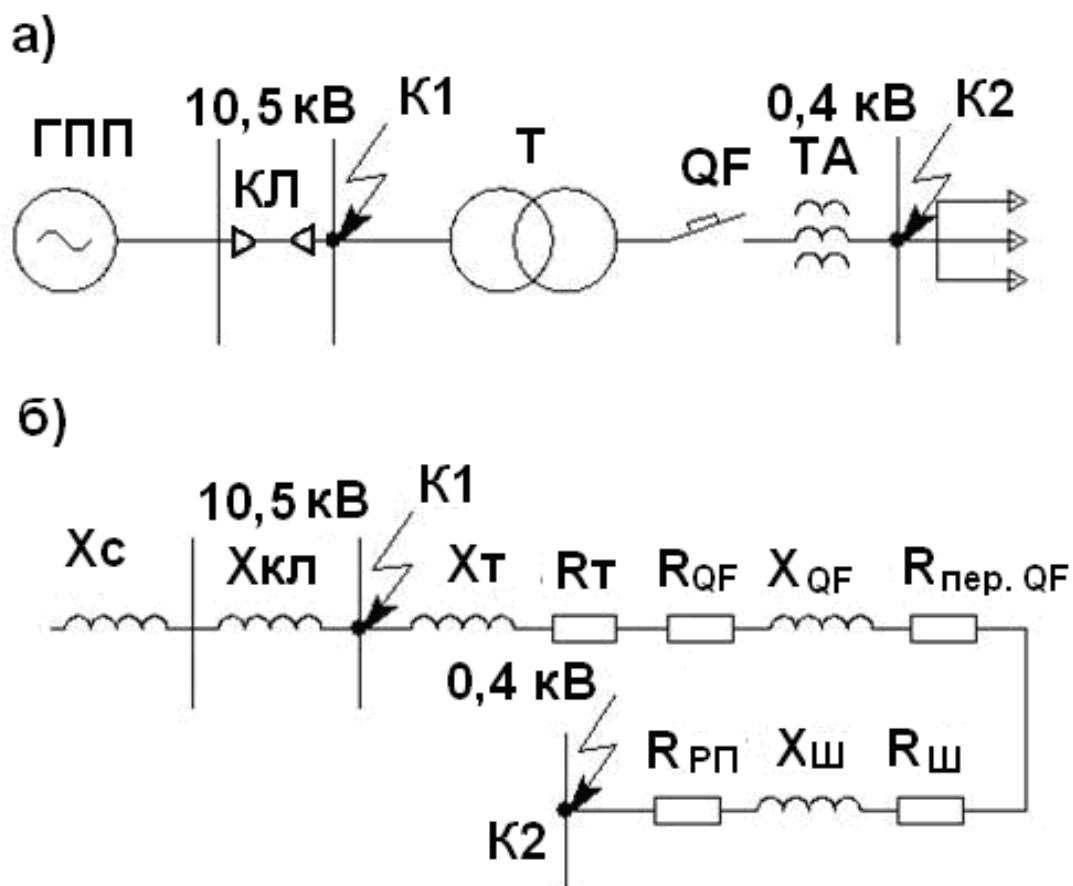


Рисунок 1 – Расчетная схема (а) и схема замещения (б)

Определим величину тока послеаварийного режима подстанции для сухого трансформатора:

$$I_{РАБ} = \frac{1,1 \cdot S_{\max}}{\sqrt{3} \cdot U} = 1,1 \cdot \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1673A,$$

Сопротивление трансформатора подстанции с трансформаторами мощностью 1000 кВА:

$$x_m = 8,6 \text{ МОм}, r_m = 1,9 \text{ МОм}, z_m = \sqrt{r_m^2 + x_m^2} = 8,8 \text{ МОм};$$

Сопровитвления трансформатора тока 1600/5 А $x_{TA}=0,3$ мОм и $r_{TA}=0,2$ мОм.

Переходное сопротивление автоматического выключателя

$I_{ном.а} = 1600$ А составляет:

$x_a=0,11$ мОм, $r_a=0,13$ мОм.

Результирующее сопротивление участка К.З. до точки К2:

$$X_{PE3_{K2}} = X_T + X_{TA} + X_a + X_{ШИН} = 8,8 + 0,2 + 0,07 + 0,5 = 9,57 \text{ мОм}$$

$$R_{PE3_{K2}} = R_T + R_{TA} + R_a + R_{ШИН} + R_{ДОБ} = 1,9 + 0,3 + 0,13 + 0,5 + 15 = 17,83 \text{ мОм}$$

$$Z_{PE3_{K2}} = \sqrt{R_{PE3_{K2}}^2 + X_{PE3_{K2}}^2} = \sqrt{17,83^2 + 9,57^2} = 20,2 \text{ мОм}$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 20,2} = 11,426 \text{ кА}$$

Ударный ток : $i_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_\infty = 1,0 \cdot \sqrt{2} \cdot 11,426 = 16,15 \text{ кА}$

$K_y=1,0$ по кривой [11,23] $K_y=f\left(\frac{X_{PE3_{K2}}}{R_{PE3_{K2}}}\right)$

Мощность К.З.: $S_k = \sqrt{3} \cdot I_k \cdot U_{CP} = \sqrt{3} \cdot 11,426 \cdot 0,4 = 7,9 \text{ МВА}$

Выберем шины 0,4кВ по условию:

$$I_{доп \text{ шин}} \geq I_{РАБ.мах} \quad (24)$$

где $I_{доп \text{ шин}}$ – допустимый ток для шин, по справочной литературе.

Выбираем медные шины прямоугольного сечения согласно DIN 43671 размером 90x12.

2500 А \geq 1673 А.

Из таблицы [11] выбираем $x_{ош}=0,05$ и $r_{ош}=0,05$, мОм/м, рассчитывается индуктивное и активное сопротивление шин, мОм, по формулам:

$$x_{ш} = x_{ош} \cdot l_{ш}, \quad (25)$$

$$x_{ш} = 0,05 \cdot 10 = 0,5 \text{ мОм.}$$

$$r_{ш} = r_{ош} \cdot l_{ш}, \quad (26)$$

$$r_{ш} = 0,05 \cdot 10 = 0,5 \text{ мОм.}$$

где $l_{ш}$ – длина шины, принимается 10 м.

2.4.2 Расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ

Произведем расчет токов КЗ в сети высокого напряжения 10 кВ (точка К1).

$$\text{Система: } X_C = X_{*GC} = 0$$

$$\text{Базисный ток } I_{РАБ} = \frac{S_{\max}}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,0} = 57,8 \text{ А,}$$

Сопротивление линии Alcsecure N2XH 10 кВ длиной 1,5 км:

$$X_{Л} = X_{*бЛ} = l_{Л} \cdot X_{0Л} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{CP}^2} = 1,5 \cdot 0,1 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 1,36 \text{ Ом}$$

$$R_{Л} = l_{Л} \cdot \frac{1000}{S \cdot \gamma} = 1,5 \cdot \frac{1000}{16 \cdot 31,7} = 3,0 \text{ Ом}$$

Результирующее сопротивление участка К.З. до точки К1:

$$Z_{PEЗ_{К1}} = \sqrt{3^2 + 1,36^2} = 3,29 \text{ Ом}$$

$$I_{\infty} = \frac{I_B}{Z_{PEЗ}} = \frac{57,8}{3,29} = 17,56 \text{ кА}$$

$$\text{Ударный ток: } i_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\infty} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 17,56 = 44,7 \text{ кА}$$

$$K_V=1,8$$

$$\text{Мощность К.З.: } S_k = \sqrt{3} \cdot I_k \cdot U_{CP} = \sqrt{3} \cdot 17,56 \cdot 10,5 = 319 \text{ МВА}$$

2.5 Выбор оборудования подстанции

Комплектные трансформаторные подстанции модульные типа SKP на номинальное напряжение 10/0,4 кВ, с силовыми трансформаторами мощностью 400 - 2500 кВА, применяются в сетях с изолированной нейтралью на стороне 10 кВ и с глухо заземленной нейтралью на стороне 0,4 кВ [20].

Чешские подстанции марки SKP [20] предназначены для работы на открытом воздухе.

Таблица 6 – Основные параметры и характеристики

Наименование параметра	Значение параметра
Номинальное напряжение на стороне ВН, кВ	10
Номинальное напряжение на стороне НН, кВ	0,4
Номинальный ток на стороне НН, А	1600
Ток электродинамической стойкости (НН), кА	200
Ток термической стойкости (НН), кА/сек.	91
Климатическое исполнение	У1
Степень защиты модулей	IP55

2.5.1 Выбор аппаратов защиты кабельных линий 0,38 кВ

Каждая электрическая установка должна быть защищена средствами УЗО. Устройства защиты следует выбирать с учетом параметров электроустановки, рассчитанных токов короткого замыкания, характеристик нагрузки, длительных токовых нагрузок кабелей.

Рабочая характеристика любого защитного устройства, защищающего кабель от перегрузки, должна отвечать условиям [7,22]:

$$I_p \leq I_n \leq I_s, \quad I_s \leq 1,45 I_d, \quad (27)$$

где I_p – рабочий ток цепи, А;

I_n – номинальный ток устройства защиты (устройства защиты с регулируемыми характеристиками номинальным током I_n является ток выбранной уставки), А;

I_d – допустимый длительный ток кабеля, А;

I_3 – ток, обеспечивающий надежное срабатывание устройства защиты, А.

Ток защиты I_3 в практических расчетах принимают равным:

- току срабатывания при заданном времени срабатывания для автоматических выключателей,
- току плавления плавкой вставки при заданном времени срабатывания для предохранителей.

Расчет номинального тока автоматического выключателя производим по формуле:

$$I_{расч.ав} = \frac{I_{p.макс}}{K_t}, \quad (28)$$

где K_t – температурный коэффициент, учитывающий изменение тока автоматического выключателя в зависимости от температуры окружающей среды в месте его установки;

$I_{p.макс}$ – максимальный рабочий ток нагрузки, А.

Для выключателей, которые применяются в жилых домах, ниже приведены приблизительные значения K_t :

$t_{o,c}$	20	30	35	40	45	50	55	60
K_t	1,05	1	0,97	0,95	0,92	0,89	0,87	0,84

Модульные автоматические выключатели, устанавливаемые в шкафах рядом друг с другом на рейках, влияют друг на друга. Необходимо это учитывать и применять величину $0,8 \cdot K_t$.

Рассмотрим выбор автоматического выключателя для проектируемого управления связи.

Количество вводно-распределительных устройств выбирается по соображениям обеспечения надежности электроснабжения с учетом конструкции здания.

В жилых домах ВРУ рекомендуется размещать в средних секциях.

В общественных зданиях ГРЩ или ВРУ должны располагаться у основного абонента независимо от числа предприятий, учреждений и организаций, расположенных в здании.

ВРУ, ЩЭ и ЩО управления связи располагаем в электрощитовой.

Используем в качестве вводных и этажных шкафов щиты серии Pragma D и Pragma F и Kaedra.

Щиты серии Pragma выпускаются на токи до 160 А, имеют навесное и встраиваемое исполнение и имеют степень защиты IP40. Практически шкафы этой серии рационально применять для коттеджей с площадью более 300 м² и расчетной мощностью более 30 кВт.

Щитки серии Kaedra предназначены для установки модульного оборудования и рассчитаны на установку до 72 модулей. Щитки Kaedra имеют высокую степень защиты от механических ударов, химического и атмосферного воздействий и от ультрафиолетовых лучей.

Расчетная мощность ВРУ -0,4 кВ складывается из силовой нагрузки и нагрузки освещения или 72,94 кВт.

$$I_{p.макс} = 72.94/1.73/0.38/0.9 = 123.28 \text{ А.}$$

При температуре в помещении 20° С $K_t = 1,05$.

$$I_{расчав} = \frac{123,28}{0,8 \cdot 1,05} = 146,7 \text{ А.}$$

Для установки ВРУ здания выбираем автоматический выключатель С120N производства Schneider Electric с номинальным током 160 А.

Аналогичный расчет и выбор автоматических выключателей для всех остальных зданий. Результаты заносим в таблицу 7.

Таблица 7 – Выбор автоматических выключателей 0,38 кВ

Здание	$I_{расч.ав.}$ А	$I_{ном, А}$ (вводной щит)	$I_{ном, А}$ (ячейка ТП)	Тип автоматического выключателя ТП
9-тиэтажн. дом	176,2	250	320	Compact NSX
гараж	49.2	63	80	Compact NSX
Детский сад	53.5	63	80	Compact NSX
Офис	123,28	160	250	Compact NSX

2.5.2 Выбор высоковольтного оборудования во вводных ячейках трансформаторной подстанции

Коммутационные аппараты выбирают [1]:

- по типу установки,
- по напряжению сети,
- по току сети,
- по отключающей способности выключателя.

Напряжение сети:

$$U_{выкл.н} \geq U_{ном} \quad (29)$$

Ток сети:

$$I_{выкл.ном} \geq I_{расч} \quad (30)$$

Отключающая способность выключателя:

$$I_{п} \leq I_{отк.ном.} \quad (31)$$

Проверяем выключатель:

- по тепловому импульсу,
- по электродинамической устойчивости.

Ударный ток в точке К1:

$$i_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_\infty = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 17,56 = 44,7 \text{ кА} \quad (32)$$

где k_y – ударный коэффициент, $k_y = 1,8$.

Тепловому импульс в точке К1:

$$B_k = I_n^2 \cdot t_{отк} = 17,56^2 \cdot 0,75 = 231,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}. \quad (33)$$

где $t_{отк}$ – время, состоящее из времени отключения выключателя и времени срабатывания релейной защиты, $t_{отк} = 0,75 \text{ с}$

I_n – ток короткого замыкания.

Согласно полученным данным выбираем в качестве вводного и секционного выключателя Evolis фирмы Schneider Electric [16].

$$U_{\text{выкл.н}} = 10 \text{ кВ};$$

$$I_{\text{выкл.ном}} = 630 \text{ А};$$

$$I_{\text{отк.ном}} = 25 \text{ кА};$$

$$i_{\text{дин}} = 64 \text{ кА};$$

$$I_T^2 \cdot t_T = 25^2 \cdot 3 = 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Выбираем трансформатор тока типа ARJP2 Schneider Electric [19] класса точности 0,5/5P, номинальный первичный ток – 25А, номинальный вторичный ток – 5А, трансформатор тока с литой изоляцией, для КРУ, $I_{т.с.} = 26 \text{ кА}$.

После выбора трансформаторов тока их необходимо проверить по допустимой нагрузке вторичных цепей:

$$Z_2 \leq Z_{\text{ном}2}, \quad (34)$$

где $Z_{\text{ном}2}$ – сопротивление вторичной цепи ($Z_{\text{ном}2} = 0,4 \text{ Ом}$ (для класса точности 0,5));

Z_2 – полное сопротивление внешней цепи, Ом.

Полное сопротивление нагрузки рассчитываем по формуле:

$$Z_2 = \Sigma r_{\text{приб}} + r_{\text{пров}} + r_{\text{конт}}, \quad (35)$$

где $\Sigma r_{\text{приб}}$ – сопротивление приборов, Ом;

$r_{\text{пров}}$ – сопротивление проводов, Ом;

$r_{\text{конт}}$ – сопротивление контактов, Ом, ($r_{\text{конт}} = 0,05 \text{ Ом}$).

$$r_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot m \cdot l}{F}, \quad (36)$$

где ρ – удельное сопротивление, Ом/м·мм², $\rho = 0,0283 \text{ Ом/м·мм}^2$;

m – коэффициент, зависящий от схемы включения, $m = 1$;

l – длина провода, м, принимаем равной 4 м;

F – сечение провода, мм², принимаем 4 мм².

$$r_{\text{пров}} = \frac{0,0283 \cdot 1 \cdot 4}{4} = 0,0283 \text{ Ом.}$$

Вторичная нагрузка трансформатора тока составляет $S_{2P} = 7,5 \text{ ВА}$.

Определяется по наиболее загруженной фазе.

Таблица 8 – Вторичная нагрузка у трансформатора тока во вводной ячейке ТП

Прибор	Тип	Нагрузка фазы, ВА		
		А	В	С
Ваттметр	СР3020	5	-	5
Амперметр	ЦП01	2,5	2,5	2,5
Счетчик активной и реактивной энергии	ЕАО5RL-Р1В-3	-	0,1	-
ИТОГО		7,5	2,6	7,5

Общее сопротивление приборов:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_2}{I_{2\text{ном}}^2} = \frac{7,5}{5^2} = 0,3 \text{ Ом.} \quad (37)$$

$$Z_2 = 0,3 + 0,0283 + 0,05 = 0,38 \text{ Ом.}$$

Это меньше, чем 0,4 Ом

Таблица 9 – Выбор трансформатора тока 10 кВ

$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном}} = 25 \text{ А}$	$I_{\text{макс}} = 23,12 \text{ А}$
$S_{\text{ном.2}} = 10 \text{ ВА}$	$S_2 = 7,5 \text{ ВА}$
$i_{\text{дин}} = 200 \text{ кА}$	$i_y = 44,7 \text{ кА}$
$I_{\text{тер}}^2 t_{\text{тер}} = 40^2 * 1 = 1600 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$I_{\text{п}}^2 t_{\text{отк}} = 231,2 \text{ кА}^2 \text{ с}$

Выбранный трансформатор тока типа ARJP2 удовлетворяет условиям проверки.

Принимаем к установке трансформатор напряжения марки VRQ3n/S2 со схемой соединения обмоток – Y11/Y11/Δ1;

- по классу точности – 0,5,
- по вторичной нагрузке.

$$S_2 \leq S_{\text{ном}} \quad (38)$$

$S_{\text{ном}} = 120 \text{ ВА}$ – номинальная мощность класса точности 0,5.

Полная мощность всех установленных приборов по данным таблицы 10 составит $S_2 = 66,17 \text{ ВА}$.

Выбранный трансформатор напряжения марки VRQ3n/S2 удовлетворяет условиям выбора, т.к. 66,17 ВА меньше нормируемой 120 ВА.

Проверим шины РУНН на устойчивость к токам К.З.

Момент сопротивления шин 50x5 при установке их плашмя:

$$W = \frac{b^2 \cdot h}{6} = \frac{5^2 \cdot 0,5}{6} = 2,08 \text{ см}^3 \quad (39)$$

Таблица 10 – Вторичная нагрузка трансформатора напряжения

Прибор	Место установки	Тип	Мощность одной обмотки, Вт	Число обмоток	cosφ	sinφ	Число приборов	Потребляемая мощность	
								P, Вт	Q, ВАр
Вольтметр	Сборные шины	ЩП02.01	2,5	1	1	0	1	2,5	0
Счетчик активной и реактивной энергии	Ввод 10 кВ	ЕАО5RL-Р1В-3	7,5	2	0,38	0,92	1	5,7	13,87
Счетчик активной и реактивной энергии	отходящие линии	ЕАО5RL-Р1В-3	7,5	2	0,38	0,92	3	17,1	41,6
Ваттметр, варметр	Ввод 10 кВ	СР3020	5	2	1	0	1	10	0
Итого:								35,3	55,47

Расчетное напряжение в металле шин:

$$M = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{(i_V)^2 \cdot l^2}{a} \quad (40)$$

$$\sigma_{расч} = \frac{M}{W} = \frac{78}{1,6} = 48,7 \text{ МПа} \quad (41)$$

где l – длина пролёта между опорными изоляторами шинной конструкции, м; $l=1,5-2,0$ м для 0,4 кВ.

a – расстояние между осями разных фаз 130 мм

$$M = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{16,15^2 \cdot 1,5^2}{0,13} = 78$$

$$\sigma_{расч} = \frac{78}{1,6} = 48,7 \text{ МПа}$$

Так как $\delta_{доп} = 102$ МПа, то шины с $\delta_{расч} = 48,7$ динамически устойчивы. на термическую стойкость:

$$S_{ш} \geq S_{ш.тс}$$

$$S_{ш} = bh = 12 \times 90 = 1080 \text{ мм}^2$$

$$S_{ш} = \alpha \cdot I_{к1}^{(3)} \cdot \sqrt{t_{np(1)}} = 11 \cdot 11,42 \cdot \sqrt{1,2} = 137 \text{ мм}^2$$

$$1080 \text{ мм}^2 > 137 \text{ мм}^2$$

Шины термически устойчивы, следовательно, они выдержат кратковременно нагрев при КЗ до 2000С.

2.6 Светотехнический расчет

2.6.1 Выбор источников света и типа светильников

От правильного подбора светильников в значительной степени зависят: производительность труда, утомляемость глаз

Организация правильного искусственного освещения в офисе повышает работоспособность и продуктивность сотрудников и создает комфортную обстановку для клиентов. Нормы количества света на рабочих местах регламентированы СНиП и СанПин, и каждая зона должна соответствовать их требованиям.

Уровень дискомфорта не должен превышать 19.

Отсутствие «пульсирования» светового потока.

В проекте предусматриваем наружное, рабочее и аварийное освещение.

При проектировании принимаем:

- щит рабочего освещения (ЩО),
- щит аварийного освещения (ЩАО),
- щит наружного освещения (ЩНО).

В соответствии с категорией технического помещения выбираем типы светильников.

В соответствии с уровнем освещенности и с использованием дизайнерских решений выбираем светильники для остальных помещений офиса связи.

Выбор источников света производим на основе сравнения преимуществ и недостатков рассматриваемых источников света. При выборе необходимо соблюдать требования ПУЭ, ПТЭ и ПТБ.

При выполнении расчетов освещения необходимо руководствоваться набором правил СП 52.13330.2011 "Естественное и искусственное освещение" (обновленная редакция СНиП 23-05-95)[18], а также другими руководящими материалами.

Предпочтение следует отдавать газоразрядным источникам света, как наиболее экономичным, поскольку проблема экономии энергоресурсов за счет экономии электроэнергии в настоящее время является достаточно острой.

Флуоресцентные лампы LL рекомендуется использовать:

- в комнатах, где работа связана с длительным интенсивным зрением,
- в комнатах, в которых нет естественного света,
- в комнатах, где существует требование для цветоудерживающей визуализации,
- по архитектурным и художественным соображениям.

Очень важным фактором при подборе правильного освещения является точная передача цвета, поэтому при создании освещения важен такой параметр, как индекс цветопередачи (CRI).

Учитывая перечисленное выше, производим выбор источников света для системы общего равномерного освещения.

Лучше всего применять люминесцентные лампы с цветовой температурой 4000 – 6500 К с хорошей цветопередачей (80% и выше).

Таким является стандартный источник дневного белого света, близкий к полуденному солнечному свету.

Применяем ртутные газоразрядные лампы низкого давления с трубчатой колбой диаметром MASTER TL-D Super 80 58W/840 1SL/25 Philips.

Выбираем для подвесного решетчатого потолка во всех помещениях управления связи, не включая помещений для электрических щитов, сантехнических помещений и помещение сервера, встраиваемый светильник Технолюкс TLPL258 EL 2x58W G13 ЭПРА потолочный с прозрачным рассеивателем IP20 белый (рисунок 2).



Рисунок 2 - Светильник Технолюкс TLPL258 EL 2x58W G13 ЭПРА: 1 - внешний вид; 2 – КСС 2x1

Предназначен для освещения офисов, административных зданий, магазинов, учреждений здравоохранения, учебных заведений.

План первого этажа представлен на рисунке 3.

В электрощитовой и помещении сервера высота потолков 4 метра.

В этих помещениях не предусмотрены подвесные потолки.

Для служебных помещений с нормальными условиями среды выбираем светильники типа ARS/R 4×58 4xTL-D 58 Вт (таблица 11).

Таблица 11– Исходные данные для расчета освещения первого этажа

№	Наименование и характеристика помещения	Длина, м.	Ширина, м.	Высота потолка, м.	Принятые нормы освещенности, лк.
1.	Кабинет руководителя	8,0	3,669	4	400
2.	Ресепшн	7,9	3,738	4	400
3.	Кладовка	3,74	2,548	4	100
4.	Приемная	8,0	3,638	4	400
5.	Комната переговоров	7,75	7,449	4	300
6.	Офисное помещение	7,08	5,538	4	400
7.	Электрощитовая	2,19	2,059	4	200
8.	Серверная	3,17	2,059	4	400
9.	Коридор	17,1	2,548	4	100
10.	Коридор (копировальная техника)	9,55	2,749	4	300
11.	Комната приема пищи	8,0	4,619	4	200
12.	Архив	7,75	3,929	4	75
13.	Комната отдыха	3,95	3,729	4	150
14.	Кладовка	3,95	2,29	4	100
15, 16	Санузел, зона умывальника	2,29	1,98	4	75
15, 16	Санузел, кабинка	1,6	1,05	4	75
17	Офисное помещение	10,8	7,75	4	400

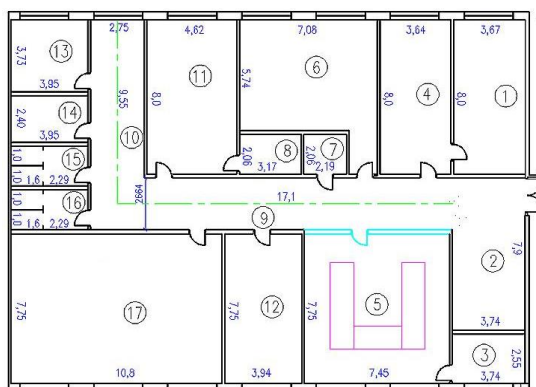


Рисунок 3 – План первого этажа офиса

2.6.2 Светотехнический расчет рабочего освещения

В соответствии с ГОСТ 55710-2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений» для проектирования освещения в офисах норму освещенности принимаем 400 Лк.

Расчет освещения выполняется методом коэффициента использования.

Рассчитаем подробно освещение офисного помещения.

Общий размер этих помещений $A \times B \times H = 10,8 \times 7,75 \times 4$ м.

Площадь $10,8 \times 7,75 = 83,7$ м².

Расчетная высота светильника (рисунок 4):

$$H_p = H - (h_{pn} + h_{св}); \quad (42)$$

где H – высота помещения, м;

h_{pn} – высота рабочей поверхности, 0,8 м;

$h_{св}$ – высота свеса светильника, 1 м.

$$H_p = 4 - (0,8 + 0,5) = 2,7 \text{ м.}$$

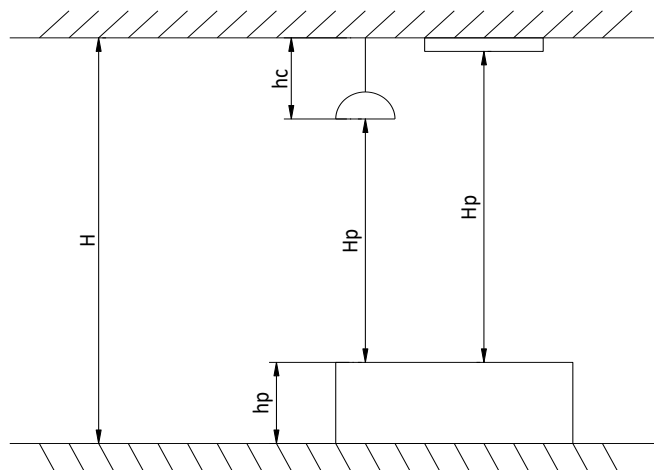


Рисунок 4 - Размещение светильника по высоте помещения

Светильники с люминесцентными лампами размещаем параллельно длинной стене помещения или стене с окнами. Рассчитываем расстояние между рядами светильников L .

Наивыгоднейшее значение L/H для светильников с кривой силы света типа Д можно принять 1,4, отсюда расстояние между рядами светильников $L=1,4 \times H=1,4 \times 2,7=3,78=4\text{м}$.

Количество рядов светильников, расположенных параллельно длинной стене помещения, составляет [4]:

$$n = \frac{B - 2l_b}{L} = \frac{(B - 2 \cdot 0,5) L}{L + 1} = \frac{(10,8 - 2 \cdot 4)}{4 + 1} = 2 \text{ ряда} \quad (43)$$

Тогда $l_b = (10,8 - 2 \cdot 3) / 2 = 2,4 \text{ м}$ - расстояние от стен

Выбираем коэффициент запаса 1,5. Определяем коэффициенты отражения в зависимости от характера отделки помещения: $\rho_p=10\%$, $\rho_c=50\%$, $\rho_n=50\%$.

Определим разряд зрительной работы.

Характеристика зрительной работы –высокой точности.

Разряд – III.

Подразряд – в.

Общее освещение – $E_n = 400$ лк

Рассчитываем индекс помещения по выражению [4,13]:

$$i = \frac{L_{ц} \cdot B_{ц}}{H_p \cdot (L_{ц} + B_{ц})}; \quad (44)$$

где H_p – высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, м;

$L_{ц}$ – длина, м;

$B_{ц}$ – ширина, м.

$$i = \frac{10,8 \cdot 7,75}{2,7 \cdot (10,8 + 7,75)} = 1,67$$

Коэффициент использования 35%

Общее освещение производственного помещения выполненном люминесцентными лампами [18], поэтому сначала необходимо определиться с количеством рядов светильников n . В выражении для определения светового потока (43) количество рядов обозначено буквой N . В этом случае величиной потока Φ является поток ламп от одного ряда.

Определяем световой поток одного ряда светильников с люминесцентными лампами по выражению [4]:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot K_{зап} \cdot F \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (45)$$

где E_n – средняя освещенность,

F – площадь цеха, м²;

$K_{зап}$ – коэффициент запаса;

z – коэффициент минимальной освещенности ($z = 1,1$ – для люминесцентных ламп; лк);

N – количество рядов светильников;

η – коэффициент использования.

$$\Phi = \frac{400 \cdot 2,5 \cdot 87,3 \cdot 1,1}{2 \cdot 0,35} = 131528 \text{ лм},$$

Для указанного типа светильников выбираем люминесцентные лампы мощностью 58 Вт. Световой поток от лампы $\Phi = 5000$ лм.

Тогда количество ламп в ряду:

$$N = 131528/5000 \approx 26,0 \text{ шт.}$$

Если учесть, что в светильнике по 2 лампы, то получим 13 светильников.

Выбираем люминесцентную лампу MASTER TL-D Super 80 мощностью $P=58$ Вт с номинальным потоком $\Phi=5000$. Поток лампы отличается от расчетного потока на $-1,8\%$, что допустимо.

Для расчета остальных воспользуемся методом удельной мощности на единицу площади как упрощенным методом коэффициента использования светового потока.

Удельной электрической мощностью называется частное от деления общей мощности установленных в помещении ламп на площадь помещения ($\text{Вт}/\text{м}^2$).

$$W = \frac{P_{\text{л}} \cdot n}{S}, \quad (46)$$

где $P_{\text{л}}$ – мощность одной лампы, Вт;

n – число ламп;

S – площадь освещаемого помещения, м^2 .

Тогда из этой формулы, если нам известна удельная мощность, площадь помещения и мощность одной лампы, мы можем узнать необходимое число ламп.

Определяем значение удельной мощности по таблицам [8]. При этом используем данные по высоте подвеса светильника и проектируемой площади помещения.

Учитываем, что в таблицах приведено значение удельной мощности при освещенности 100 лк и условному КПД 100%. Нам необходимо определить значение W для параметров проектируемых помещений:

$$W_{уд.} = \frac{W_{уд.табл} \cdot E_{расч}}{\eta_{расч} \cdot E_{табл}}, \quad (47)$$

где $W_{уд.табл}$ – табличное значение удельной мощности, Вт/м²;

$E_{расч}$ и $E_{табл}$ – соответственно значения освещенности необходимое для данного помещения и принятое в таблице, лк;

$\eta_{расч}$ – реальное значение КПД светильника.

В качестве примера приведем расчет числа светильников для кабинета руководителя (таблица 12):

$$E_{расч} = 400 \text{ лк}; S = 29,36 \text{ м}^2; h = 3,2 \text{ м}; \eta_{расч} = 0,85; P_{л} = 58 \text{ Вт}$$

Согласно таблице удельных мощностей для люминесцентных ламп $W_{уд.табл} = 5 \text{ Вт/м}^2$.

$$W_{уд.} = \frac{5 \cdot 400}{0,85 \cdot 100} = 23,52 \text{ Вт/м}^2.$$

Тогда необходимое количество светильников из (44):

$$n = \frac{W_{уд.} \cdot S}{P_{л}} = \frac{23,52 \cdot 29,36}{58} = 11,9 \approx 12 \text{ шт.} \quad (48)$$

Принимаем к установке 6 светильников с 2-мя люминесцентными лампами.

Таблица 12 – Расчет числа светильников, необходимых для освещения помещения

Помещение	Длина, м.	Ширина, м.	$W_{уд.расч}, Вт/м^2$	N ламп, шт.	Тип светильника
Кабинет руководителя	8,0	3,67	22,6	12	TLPL258 EL 2x58W
Ресепшн	7,9	3,74	15,1	8	TLPL258 EL 2x58W
Кладовка	3,74	2,55	7,1	2	TL-D-2x40
Приемная	8,0	3,64	22,6	12	TLPL258 EL 2x58W
Комната переговоров,	7,75	7,45	10,2	8	TLPL258 EL 2x58W
Офисное помещение	7,08	5,54	21,1	12	TLPL258 EL 2x58W
Электрощитовая	2,19	2,06	36,8	3	TL-D-2x40
Серверная	3,17	2,06	35,6	5	TLPL258 EL 2x58W
Коридор	17,1	2,66	6,7	4	TL-D-2x40
Коридор (копировальная техника)	9,55	2,75	18,7	7	TLPL258 EL 2x58W
Комната приема пищи	8,0	4,62	18,8	10	TLPL258 EL 2x58W
Архив	7,75	3,94	4,2	4	TLPL258 EL 2x58W
Комната отдыха	3,95	3,73	19,9	4	ARS/R 4x18
Кладовка	3,95	2,4	7,1	2	TL-D-2x40
Санузел, зона умывальника	2,29	2		1	TL-D-2x40
Санузел, кабинка	1,6	1		1	TL-D-2x40
Комната отдыха	3,95	3,73	19,9	4	ARS/R 4x18
Кладовка	3,95	2,4	7,1	2	TL-D-2x40
Санузел, зона умывальника	2,29	2		1	TL-D-2x40
Санузел, кабинка	1,6	1		1	TL-D-2x40

Или суммарная мощность для помещений первого этажа:

$$P_{уст} = 116 \cdot 26 + 116 \cdot 6 + 116 \cdot 4 + 80 + 116 \cdot 6 + 116 \cdot 4 + 116 \cdot 6 + 80 + 116 \cdot 2 + 80 \cdot 2 + 116 \cdot 4 + 116 \cdot 5 + 116 \cdot 2 + 4 \cdot 18 + 80 \cdot 3 = 8172 \text{ кВт}$$

Встраиваемые светильники устанавливают в ячейки подвешенного потолка.

2.6.3 Определение рабочих осветительных нагрузок

Метод коэффициента спроса применяют для определения расчетной максимальной нагрузки узлов электроснабжения на стадии проектного задания.

Для определения расчетных нагрузок осветительных сетей необходимо знать установленную мощность осветительной сети помещения.

Расчетная нагрузка $P_{p,o}$ осветительной сети офиса связи:

$$P_{p,o} = P_{уст} \cdot K_c \cdot K_{ППА} = 8172 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 8539,74 \text{ Вт} \quad (49)$$

где $K_c = 0,95$;

$$K_{ППА} = 1,1$$

$P_{уст}$ - установленная мощность.

$$P_{p,o} = 8172 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 8539,74 \text{ Вт}$$

Принимаем для 2 – го и 3 – его этажей такую же мощность.

2.6.4 Расчет и выбор марок и сечений проводников рабочих осветительных сетей по нагреву

Для питания щитков выбираем пятижильный кабель марки ВВГнг. Непосредственно линии осветительной сети выполним кабелем ВВГнг-НФЛТх кабели силовые, повышенной пожарной безопасности. Томсккабель, медным с ПВХ изоляцией, проложенным в кабель-канале с крышкой ТА-GN и по лоткам с использованием потолка [21].

Выбираем сечение кабеля для питания к щиту освещения первого этажа ЩО1. Длительно допустимый ток равен [2,24]:

$$I_{p,o} = \frac{P_{p,o}}{\sqrt{3} \cdot U_{л} \cdot \cos \phi} ; \quad (50)$$

где $P_{p,o}$ – расчетная мощность освещения, Вт;

$U_{л}$ – напряжение линейное, 380 В;

$\cos \phi$ – коэффициент мощности, 0.96.

$$I_{p,o} = \frac{8539,74}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,96} = 13,5 \text{ А,}$$

Выбираем из стандартного ряда по каталожным данным кабель ВВГнг НФЛТх -(5х2,5) мм² с I_д = 28 А.

Для включения ламп в сеть выбираем щит на ток 16 А.

Принимаем осветительный щиток ОЩВ с вводным дифференциальным автоматом EZR9 4R (рисунок 5) на ток 16 А французской фирмы «Schneider Electric». Уставка электромагнитного расцепителя 192 А.

Ток срабатывания электромагнитного или комбинированного расцепителя $I_{ср.э}$ проверяется по максимальному кратковременному току линии:

$$I_{ср.э} \geq 1,25 \cdot I_p, \quad (51)$$

$$I_{кр} = 7 \cdot I_{ср.э} = 8,75 \cdot I_p. \quad (52)$$



Рисунок 5 - Вводной автомат DiC60H, Schneider Electric

Выполняем проверку для вводного автомата щита вспомогательных помещений ЩО2:

$$I_{кр} = 8,75 \cdot 13,5 = 118,4\text{А}$$

$$118,4\text{А} < 192\text{А}$$

Так же он оснащен на отходящих групповых линиях однополюсными автоматическими выключателями серии Acti 9 iC60N, Schneider Electric.

2.6.5 Расчет аварийного освещения

Светильники аварийного и эвакуационного освещения обеспечиваются питанием от щитов аварийного освещения (ЩАО).

Питание щитов аварийного освещения осуществляется от системы бесперебойного электроснабжения.

Световые указатели выхода в соответствии с требованиями устанавливаются в помещениях, где пребывание посетителей 50 и более человек. В связи с этим около входной двери офиса и на всех поворотах коридоров устанавливаем указатели выхода. Световые указатели выхода должны направлять людей на эвакуационные лестницы. К лифтам выход запрещен, потому что при пожаре лифты опускаются на первый этаж и отключаются. Все современные индикаторы выхода включают в себя аккумулятор, который обеспечивает его работу в случае отказа напряжения в течение трех или более часов. Для указателей выхода в соответствии с ГОСТ Р 12.4.026-2001 предусматриваем наклейки с различными обозначениями путей эвакуации.

В чрезвычайной ситуации, в случае внезапного отключения рабочего освещения, необходимо обеспечить мероприятия по сохранности денежных средств и их инкассацию в безопасное место.

Число ламп:

$$N = \frac{30 \cdot 1,5 \cdot 478,4 \cdot 1,15}{13000 \cdot 0,57} = 3_{св},$$

Принимается 3 светильника.

Световой поток ламп в каждом светильнике аварийного освещения:

$$\Phi = \frac{30 \cdot 1,5 \cdot 478,4 \cdot 1,15}{3 \cdot 0,57} = 12105_{лм},$$

Выбираем светодиодную лампу марки LED -75 мощностью P=75 Вт с номинальным потоком $\Phi=13000$ лм.

На первом этаже

$$P_{ав,о} = (3 \cdot 75) \cdot 0,95 = 214 \text{ Вт}$$

Линии аварийного освещения рекомендуется прокладывать отдельно от линий рабочего освещения.

При прокладке их в одном коробе или лотке необходимо обеспечивать сохранность кабелей аварийного освещения в случае выхода из строя (расплавления изоляции и замыкания жил) кабелей рабочего освещения.

Для этого используют перегородки, устанавливаемые вдоль короба.

Светильники аварийного освещения должны быть помечены специально нанесенной буквой "А" красного цвета (п.7.113 СП 52.13330.2011).

Для аварийного освещения 1 – го этажа выбираем светильники IP65 на суперконденсаторах или централизованного типа

Ток аварийного освещения:

$$I_{А,о} = \frac{214}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 1} = 0,35 \text{ А},$$

Для трех этажей ток аварийного освещения составит $0,35 \cdot 3 = 1 \text{ А}$.

Щиток аварийного освещения запитываем кабелем ВВГнгFRLS - (5x2,5) мм² с длительно допустимым током 28А.

Выбираем щиток аварийного освещения с вводным автоматом EZR9 4R французской фирмы «Schneider Electric» на ток 1,5А.

Уставка электромагнитного расцепителя 18 А.

2.7 Выбор элементной базы схемы АВР на стороне 0,4 кВ с учетом надежности электроснабжения

2.7.1 Надежность электроснабжения потребителей на стороне 0,4 кВ

В вероятность отказа схемы условно включаются показатели надежности питающей линии 10 кВ с целью учета относительной частоты отказа выключателей нагрузки при повреждении на этой линии.

1) Нормальное состояние схемы

Нормальное состояние схемы характеризуется тем, что все элементы и устройства автоматики находятся в работе.

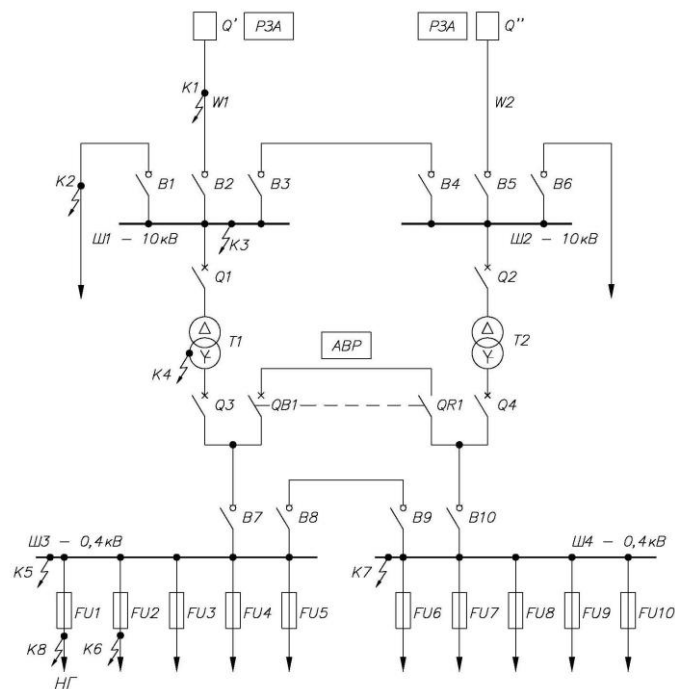


Рисунок 6 – Принципиальная схема ТП 10/0,4 кВ с устройством АВР на стороне 0,4 кВ, выполненном на автоматических выключателях

При расчете вероятности отказа учтены следующие факторы:

- восстановление питания потребителей при повреждении шины 0,4 кВ Ш3 возможно лишь после ее замены или ремонта,

– при повреждении выключателя нагрузки В7, трансформатора Т1, автоматического выключателя 10 кВ Q1, шины РУ 10 кВ Ш1 и выключателя нагрузки 10 кВ В2, а также исчезновении питающего напряжения 10 кВ на линии W1, срабатывает устройство АВР 0,4 кВ и питание потребителей восстанавливается,

– в случае отказа автоматических выключателей Q3 и QB1 при заявке на срабатывание при необходимости действия устройства АВР перерыв в питании потребителей определяется временем восстановления элемента, из-за отказа которого сработало устройство АВР.

Вероятность отказа схемы в нормальном состоянии определяется по формуле:

$$\begin{aligned}
 P_{\Sigma}^H = & \omega_{Ш3} T_{Ш3}^B + \omega_{B7} T_{B8}^{\Pi} + \omega_{Q3} T_{B8}^{\Pi} + \omega_{T1} T_{ABP}^{\Pi} + \omega_{Q1} T_{ABP}^{\Pi} + \\
 & + \omega_{T1} T_{Q1}^B a_{Q1}^{K3} + \omega_{Ш1} T_{ABP}^{\Pi} + \omega_{B2} T_{ABP}^{\Pi} + \\
 & + (a_{Q3}^{\Pi} + a_{QB1}^{\Pi}) (\omega_{T1} T_{T1}^B + \omega_{Q1} T_{Q1}^B + \omega_{Ш1} T_{Ш1}^B + \omega_{B2} T_{B3}^{\Pi} + \omega_{Л1} T_{Л1}^B) + \omega_{Ш4} T_{Ш4}^B a_{QB1}^{K3}
 \end{aligned} \tag{53}$$

где ω_{ϕ_i} , ω_{B_i} , ω_{T_i} , $\omega_{\bar{e}_i}$ - параметр потока отказов шин, выключателей нагрузки, трансформаторов, линий, 1/год;

$T_{Ш_i}^B$, $T_{B_i}^B$, $T_{Q_i}^B$ - среднее время восстановления (аварийного ремонта) шин, выключателей нагрузки, автоматических выключателей, год на 1 отказ;

$T_{B_i}^{\Pi}$ - среднее время (продолжительность) локализации аварии (оперативных переключений), год на 1 отказ;

T_{ABP}^{Π} - среднее время срабатывания устройства АВР, год на 1 отказ;

$a_{Q_i}^{K3}$ - относительная частота отказа автоматического выключателя при КЗ;

$a_{B_i}^{\Pi}$ - относительная частота отказа выключателя нагрузки при заявке на срабатывание.

$$P_{\Sigma}^H = \frac{1}{8760} (0,02 \cdot 14 \cdot 4 + 0,01 \cdot 1 + 0,019 \cdot 1 + 0,05 \cdot 0,02 + 0,022 \cdot 0,02 + \\ + 0,05 \cdot 12 \cdot 0,027 + 0,03 \cdot 3 \cdot 0,02 + 0,01 \cdot 12 + (0,0031 + 0,0031)(0,05 \cdot 50 + \\ + 0,022 \cdot 12 + 0,03 \cdot 3 \cdot 12 + 0,01 \cdot 1 + 7,5 \cdot 1 \cdot 15) + 0,02 \cdot 14 \cdot 4 \cdot 0,032) = 2,22 \cdot 10^{-4}$$

2) Состояние схемы, возникшее после срабатывания устройства АВР

Данное состояние возникает после исчезновения питания потребителей на стороне 0,4 кВ и последующего успешного срабатывания устройства АВР.

Продолжительность существования рассматриваемого состояния относительно невелика и определяется временем устранения причины перерыва электроснабжения потребителей 0,4 кВ и последующего восстановления исходного состояния схемы.

При расчете вероятности отказа учтены следующие факторы:

- если возникает отказ схемы во время существования данного состояния, то вероятность отказа определяется из условия восстановления существовавшего до этого отказа состояния схемы, т.е. после успешного срабатывания устройства АВР,
- восстановление питания потребителей при повреждении шины РУ 0,4 кВ Ш3, трансформатора Т2, автоматического выключателя 10 кВ Q4, шин РУ 10 кВ Ш2, выключателя нагрузки 10 кВ В5 возможно лишь после их замены или ремонта,
- восстановление питания потребителей при повреждении выключателя нагрузки В7, автоматического выключателя QB1, рубильника QR1 осуществляется путем оперативного включения межсекционного выключателя нагрузки В8.

Вероятность отказа схемы после срабатывания устройства АВР определяется по формуле:

$$P_{\Sigma}^{A1} = \omega_{Ш3} T_{Ш3}^B + \omega_{B7} T_{B8}^{\Pi} + \omega_{QB1} T_{B8}^{\Pi} + \omega_{QR1} T_{B8}^{\Pi} + \omega_{Q4} T_{Q4}^B + \\ + \omega_{T2} T_{T2}^B + \omega_{Ш2} T_{Ш2}^B + \omega_{B5} T_{B5}^B \quad (54)$$

$$P_{\Sigma}^{A1} = \frac{1}{8760} (0,02 \cdot 14 \cdot 4 + 0,01 \cdot 1 + 0,019 \cdot 1 + 0,008 \cdot 1 + 0,019 \cdot 5 + 0,05 \cdot 50 + \\ + 0,03 \cdot 3 \cdot 12 + 0,01 \cdot 12) = 5,65 \cdot 10^{-4}$$

3) Состояние схемы, возникающее после оперативного включения межсекционного выключателя нагрузки на шинах 10 кВ

Данное состояние схемы возникает после включения выключателей нагрузки 10 кВ В3 и В4. Необходимость данного включения может возникнуть, например, для исключения перегрузки одного из трансформаторов при длительном отключении питающей линии 10 кВ W1.

При расчете вероятности отказа учтены следующие факторы:

- если возникает отказ схемы во время существования данного состояния, то вероятность отказа определяется из условия восстановления существовавшего до этого отказа состояния схемы, т.е. после оперативного включения межсекционной перемычки на стороне 10 кВ,
- восстановление питания потребителей при повреждении шины РУ 0,4 кВ Ш3, шины РУ 10 кВ Ш2, выключателя нагрузки 10 кВ В5 возможно лишь после их замены или ремонта,
- восстановление питания при повреждении выключателя нагрузки В7, автоматического выключателя Q3, шины РУ 10 кВ Ш1, выключателей нагрузки 10 кВ В3, В4 происходит после оперативного включения выключателя нагрузки В8,
- восстановление питания при повреждении трансформатора Т1, автоматического выключателя Q1 происходит после срабатывания устройства АВР,
- в случае отказа автоматических выключателей Q3 и QB1 при заявке на срабатывание при необходимости действия устройства АВР перерыв в питании потребителей определяется временем восстановления элемента (трансформатора Т1 или автоматического выключателя 10 кВ Q1), из-за отказа которого сработало устройство АВР.

Вероятность отказа схемы после оперативного включения межсекционного выключателя нагрузки на шинах 10 кВ определяется по формуле:

$$\begin{aligned}
 P_{\Sigma}^{A2} = & \omega_{Ш3} T_{Ш3}^B + \omega_{B7} T_{B8}^{\Pi} + \omega_{Q3} T_{B8}^{\Pi} + \omega_{T1} T_{ABP}^{\Pi} + \omega_{Q1} T_{ABP}^{\Pi} + \\
 & + \omega_{T1} T_{Q1}^B a_{Q1}^{K3} + \omega_{Ш1} T_{B8}^{\Pi} + \omega_{B3} T_{B8}^{\Pi} + \omega_{B4} T_{B8}^{\Pi} + \omega_{Ш2} T_{Ш2}^B + \omega_{B5} T_{B5}^B + \\
 & + (a_{Q3}^{\Pi} + a_{QB1}^{\Pi})(\omega_{T1} T_{T1}^B + \omega_{Q1} T_{Q1}^B) + \omega_{Ш4} T_{Ш4}^B a_{QB1}^{K3}
 \end{aligned} \tag{55}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\Sigma}^{A2} = & \frac{1}{8760} (0,02 \cdot 14 \cdot 4 + 0,01 \cdot 1 + 0,019 \cdot 1 + 0,05 \cdot 0,02 + 0,022 \cdot 0,02 + \\
 & + 0,05 \cdot 12 \cdot 0,027 + 0,03 \cdot 3 \cdot 1 + 0,01 \cdot 1 + 0,01 \cdot 1 + 0,03 \cdot 3 \cdot 12 + 0,01 \cdot 12 + \\
 & + (0,0031 + 0,0031)(0,05 \cdot 50 + 0,022 \cdot 12) + 0,02 \cdot 14 \cdot 4 \cdot 0,032) = 1,55 \cdot 10^{-4}
 \end{aligned}$$

Полученные результаты сведены в таблице 13.

2.7.2 Бестоковая пауза для потребителей на стороне 0,4 кВ и качество электроэнергии в аварийных режимах (провалы напряжения питания)

Анализ провалов напряжения выполняется на шинах потребителей 0,4 кВ. На рисунке 3 рассматриваемые потребители имеют обозначение НГ.

Полученные результаты сведены в таблице 13 и рисунке 3.

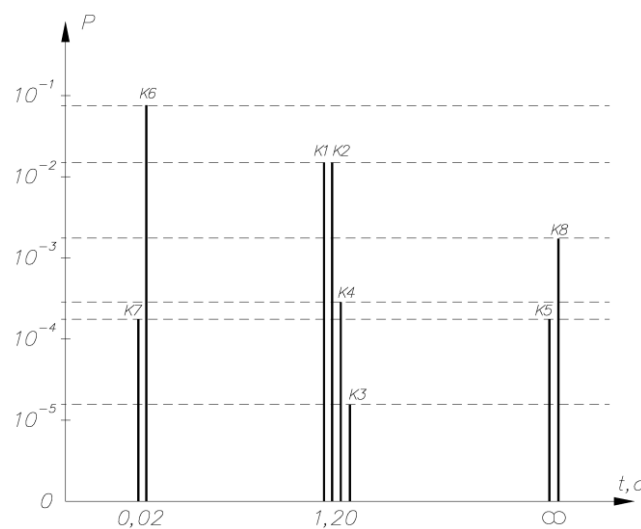
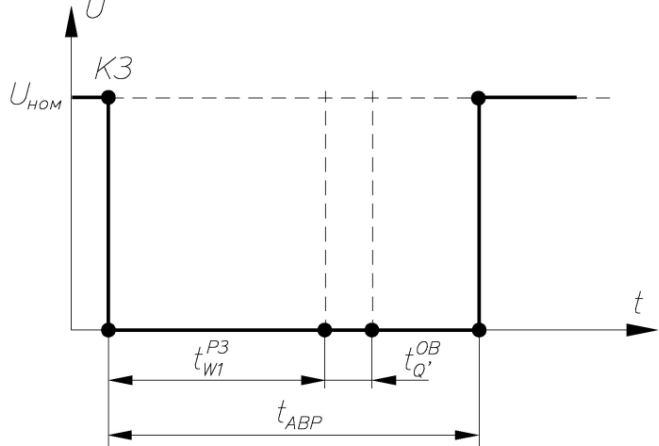
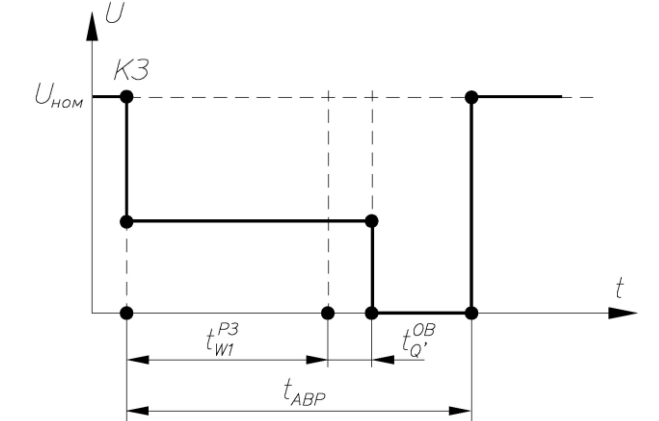
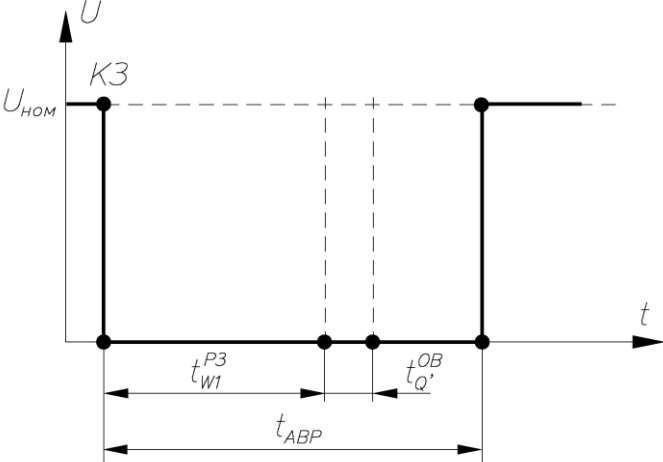
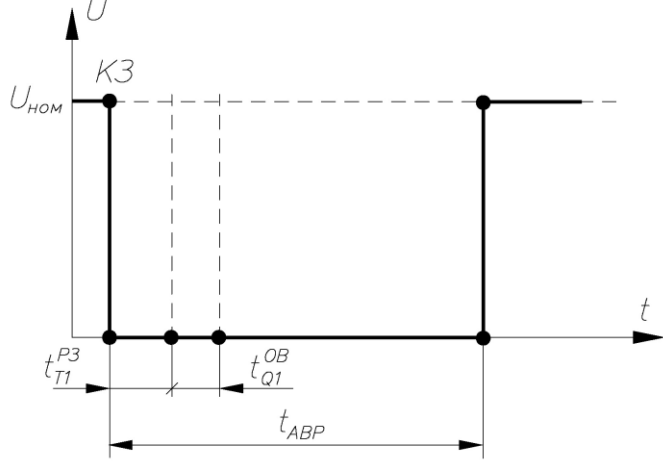


Рисунок 7 – Гистограмма вероятностей провалов напряжения по схеме на рисунке б

Таблица 13 – Повреждения и эпюры напряжения на шинах потребителя при установке устройства АВР на автоматических выключателях на стороне 0,4 кВ

Точки повреждения	Место повреждения	Эпюра напряжения на шинах потребителей 0,4 кВ	Длительность провала t_{II} , с
К1	Питающая линия 10 кВ		1,2 (определяется временем полного цикла АВР)
К2	Отходящая линия 10 кВ		1,2 (определяется временем полного цикла АВР). Глубина провала может изменяться в пределах (0-0,9)U _{ном} в зависимости от удаленности места повреждения

Продолжение таблицы 13

Точки повреждения	Место повреждения	Эпюра напряжения на шинах потребителей 0,4 кВ	Длительность провала t_{II} , с
К3	Шины распределительного устройства 10 кВ		1,2 (определяется временем полного цикла АВР)
К4	Силовой трансформатор 10/0,4 кВ		1,2 (определяется временем полного цикла АВР)

Продолжение таблицы 13

Точки повреждения	Место повреждения	Эпюра напряжения на шинах потребителей 0,4 кВ	Длительность провала t_{II} , с
К5	Шины распределительного устройства 0,4 кВ		<p>При повреждении на шинах 0,4 кВ локализация повреждения происходит автоматических выключателем QВ1 после срабатывания устройства АВР</p>
К6	Отходящая линия 0,4 кВ		<p>0,02 (определяется временем срабатывания предохранителя 0,4 кВ). Глубина провала может изменяться в пределах (0-0,9) $U_{ном}$ в зависимости от удаленности места повреждения</p>

Продолжение таблицы 13

Точки повреждения	Место повреждения	Эпюра напряжения на шинах потребителей 0,4 кВ	Длительность провала t_{II} , с
К7	Шины распределительного устройства 0,4 кВ («соседняя» секция)		0,02 (определяется временем срабатывания автоматического выключателя 0,4 кВ QB1)
К8	Питающая линия 0,4 кВ		В случае короткого замыкания на линии 0,4 кВ, повреждение локализуется предохранителем, установленным на этой линии, и происходит полное отключение потребителей

2.7.3 Надежность электроснабжения потребителей на стороне 0,4 кВ с устройством АВР на стороне 0,4 кВ, выполненном на выключателях нагрузки

В вероятность отказа схемы условно включаются показатели надежности питающей линии 10 кВ с целью учета относительной частоты отказа выключателей нагрузки при повреждении на этой линии.

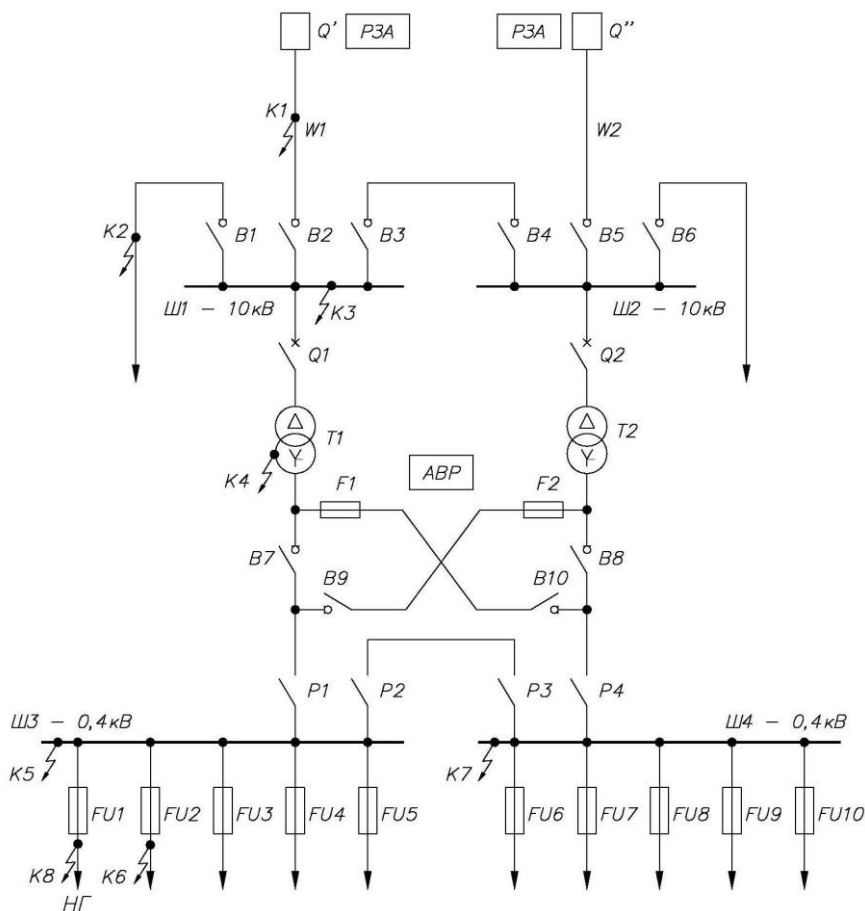


Рисунок 8 – Принципиальная схема ТП 10/0,4 кВ с устройством АВР на стороне 0,4 кВ, выполненном на выключателях нагрузки

1) Нормальное состояние схемы

Нормальное состояние схемы характеризуется тем, что все элементы и устройства автоматики находятся в работе.

При расчете вероятности отказа учтены следующие факторы:

- восстановление питания потребителей при повреждении шины 0,4 кВ Ш3, рубильника P1 возможно лишь после их замены или ремонта,

- при отказе выключателя нагрузки В7 восстановление питания потребителей осуществляется путем оперативных переключений и включения межсекционной перемычки на стороне 0,4 кВ,
- при повреждении трансформатора Т1, автоматического выключателя 10 кВ Q1, шины РУ 10 кВ Ш1 и выключателя нагрузки 10 кВ В2, а также исчезновении питающего напряжения 10 кВ на линии W1, срабатывает устройство АВР 0,4 кВ и питание потребителей восстанавливается,
- в случае отказа выключателей нагрузки В7 и В9 при заявке на срабатывание при необходимости действия устройства АВР перерыв в питании потребителей определяется временем восстановления элемента, из-за отказа которого сработало устройство АВР.

Вероятность отказа схемы в нормальном состоянии определяется по формуле:

$$\begin{aligned}
 P_{\Sigma}^H = & \omega_{Ш3} T_{Ш3}^B + \omega_{P1} T_{P1}^B + \omega_{B7} T_{P2}^{\Pi} + \omega_{T1} T_{ABP}^{\Pi} + \omega_{Q1} T_{ABP}^{\Pi} + \\
 & + \omega_{T1} T_{Q1}^B a_{Q1}^{K3} + \omega_{Ш1} T_{ABP}^{\Pi} + \omega_{B2} T_{ABP}^{\Pi} + \\
 & + (a_{B7}^{\Pi} + a_{B9}^{\Pi})(\omega_{T1} T_{T1}^B + \omega_{Q1} T_{Q1}^B + \omega_{Ш1} T_{Ш1}^B + \omega_{B2} T_{B2}^B + \omega_{Л1} T_{Л1}^B) + \omega_{Ш4} T_{P2}^{\Pi} a_{F1}^{K3}
 \end{aligned} \tag{56}$$

где ω_{ϕ_i} , ω_{B_i} , ω_{T_i} , $\omega_{\dot{E}_i}$, ω_{D_i} - параметр потока отказов шин, выключателей нагрузки, трансформаторов, линий, рубильников, 1/год;

$T_{Ш_i}^B$, $T_{B_i}^B$, $T_{Q_i}^B$, $T_{P_i}^B$, $T_{F_i}^B$ - среднее время восстановления (аварийного ремонта) шин, выключателей нагрузки, автоматических выключателей, рубильников, предохранителей, год на 1 отказ;

$T_{B_i}^{\Pi}$, $T_{P_i}^{\Pi}$ - среднее время (продолжительность) локализации аварии (оперативных переключений), год на 1 отказ;

T_{ABP}^{Π} - среднее время срабатывания устройства АВР, год на 1 отказ;

$a_{Q_i}^{K3}$, $a_{F_i}^{K3}$ - относительная частота отказа автоматического

выключателя, предохранителя при КЗ, повреждении;

a_{Bi}^{Π} , a_{Pi}^{Π} - относительная частота отказа выключателя нагрузки, рубильника при заявке на срабатывание.

$$P_{\Sigma}^H = \frac{1}{8760} (0,02 \cdot 14 \cdot 4 + 0,008 \cdot 1 + 0,017 \cdot 1 + 0,05 \cdot 0,02 + 0,022 \cdot 0,02 + 0,05 \cdot 12 \cdot 0,027 + 0,03 \cdot 3 \cdot 0,02 + 0,01 \cdot 0,02 + (0,0031 + 0,0031)(0,05 \cdot 50 + 0,022 \cdot 12 + 0,03 \cdot 3 \cdot 12 + 0,01 \cdot 12 + 7,5 \cdot 1 \cdot 15) + 0,02 \cdot 14 \cdot 1 \cdot 0,021) = 2,16 \cdot 10^{-4}$$

2) Состояние схемы, возникшее после срабатывания устройства АВР

Данное состояние возникает после исчезновения питания потребителей на стороне 0,4 кВ и последующего успешного срабатывания устройства АВР.

Продолжительность существования рассматриваемого состояния относительно невелика и определяется временем устранения причины перерыва электроснабжения потребителей 0,4 кВ и последующего восстановления исходного состояния схемы.

При расчете вероятности отказа учтены следующие факторы:

- если возникает отказ схемы во время существования данного состояния, то вероятность отказа определяется из условия восстановления существовавшего до этого отказа состояния схемы, т.е. после успешного срабатывания устройства АВР,
- восстановление питания потребителей при повреждении шины РУ 0,4 кВ ШЗ, рубильника Р1, трансформатора Т2, автоматического выключателя 10 кВ Q2, шин РУ 10 кВ Ш2, выключателя нагрузки 10 кВ В5 возможно лишь после их замены или ремонта,
- восстановление питания потребителей после отказа, выключателя нагрузки В9, предохранителя F2 осуществляется путем оперативных переключений и включения межсекционной перемычки на стороне 0,4 кВ.

Вероятность отказа схемы после срабатывания устройства АВР определяется по формуле:

$$P_{\Sigma}^{A1} = \omega_{Ш3} T_{Ш3}^B + \omega_{P1} T_{P1}^B + \omega_{B9} T_{P2}^{\Pi} + \omega_{F2} T_{P2}^{\Pi} + \omega_{T2} T_{T2}^B + \omega_{Q2} T_{Q2}^B + \omega_{Ш2} T_{Ш2}^B + \omega_{B5} T_{B5}^B \quad (57)$$

$$P_{\Sigma}^{A1} = \frac{1}{8760} (0,02 \cdot 14 \cdot 4 + 0,008 \cdot 1 + 0,017 \cdot 1 + 0,02 \cdot 1 + 0,05 \cdot 50 + 0,022 \cdot 12 + 0,03 \cdot 3 \cdot 12 + 0,01 \cdot 12) = 5,86 \cdot 10^{-4}$$

3) Состояние схемы, возникающее после оперативного включения межсекционного выключателя нагрузки на шинах 10 кВ

Данное состояние схемы возникает после включения выключателей нагрузки 10 кВ В3 и В4. Необходимость данного включения может возникнуть, например, для исключения перегрузки одного из трансформаторов при длительном отключении питающей линии 10 кВ W1.

При расчете вероятности отказа учтены следующие факторы:

- если возникает отказ схемы во время существования данного состояния, то вероятность отказа определяется из условия восстановления существовавшего до этого отказа состояния схемы, т.е. после оперативного включения межсекционной перемычки на стороне 10 кВ,
- восстановление питания потребителей при повреждении шины РУ 0,4 кВ Ш3, рубильника P1, шины РУ 10 кВ Ш1, Ш2, выключателя нагрузки 10 кВ В5 возможно лишь после их замены или ремонта,
- восстановление питания при повреждении трансформатора T1, автоматического выключателя Q1 происходит после срабатывания устройства АВР,
- восстановление питания при повреждении выключателя нагрузки В7, выключателей нагрузки 10 кВ В3, В4 осуществляется после

оперативных переключений и включения межсекционной перемычки на стороне 0,4 кВ,

– в случае отказа выключателей нагрузки В7 и В9 при заявке на срабатывание при необходимости действия устройства АВР перерыв в питании потребителей определяется временем восстановления элемента (трансформатора Т1 или автоматического выключателя 10 кВ Q1), из-за отказа которого сработало устройство АВР.

Отключена линия Л1, выключатель нагрузки В2, включены выключатели нагрузки В3 и В4:

$$\begin{aligned}
 P_{\Sigma}^{A2} = & \omega_{Ш3} T_{Ш3}^B + \omega_{P1} T_{P1}^B + \omega_{B7} T_{P2}^{\Pi} + \omega_{T1} T_{ABP}^{\Pi} + \omega_{Q1} T_{ABP}^{\Pi} + \\
 & + \omega_{T1} T_{Q1}^B a_{Q1}^{K3} + \omega_{Ш1} T_{Ш1}^B + \omega_{B3} T_{P2}^{\Pi} + \omega_{B4} T_{P2}^{\Pi} + \omega_{Ш2} T_{Ш2}^B + \omega_{B5} T_{B5}^B + \\
 & + (a_{B7}^{\Pi} + a_{B9}^{\Pi})(\omega_{T1} T_{T1}^B + \omega_{Q1} T_{Q1}^B) + \omega_{Ш4} T_{P4}^{\Pi} a_{F1}^{K3}
 \end{aligned} \tag{58}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\Sigma}^{A2} = & \frac{1}{8760} (0,02 \cdot 14 \cdot 4 + 0,008 \cdot 1 + 0,012 \cdot 1 + 0,05 \cdot 0,02 + 0,022 \cdot 0,02 + \\
 & + 0,05 \cdot 12 \cdot 0,027 + 0,03 \cdot 3 \cdot 12 + 0,01 \cdot 1 + 0,01 \cdot 1 + 0,03 \cdot 3 \cdot 12 + 0,01 \cdot 12 + \\
 & + (0,0031 + 0,0031)(0,05 \cdot 50 + 0,022 \cdot 12) + 0,02 \cdot 14 \cdot 1 \cdot 0,021) = 2,67 \cdot 10^{-4}
 \end{aligned}$$

2.7.4 Бестоковая пауза для потребителей на стороне 0,4 кВ и качество электроэнергии в аварийных режимах (провалы напряжения питания)

Анализ провалов напряжения выполняется на шинах потребителей 0,4 кВ. Рассматриваемые потребители имеют обозначение НГ. Полученные результаты сведены в таблице 14 и рисунке 9.

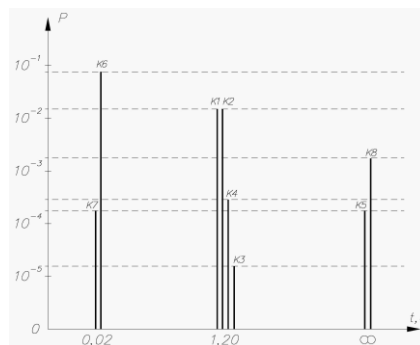
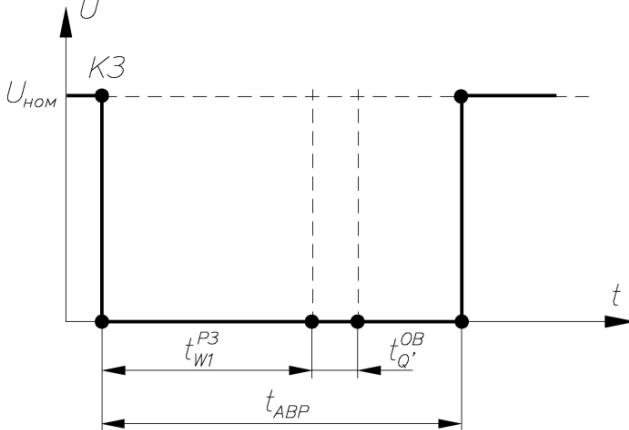
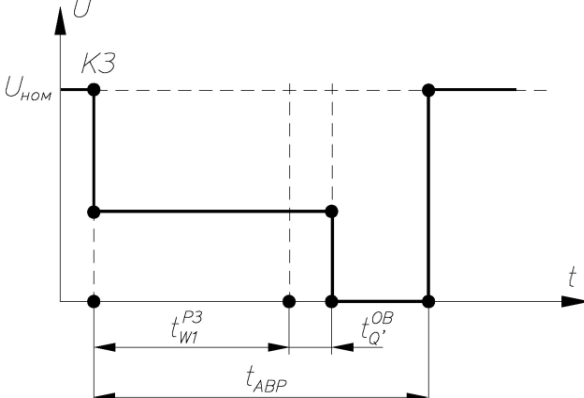
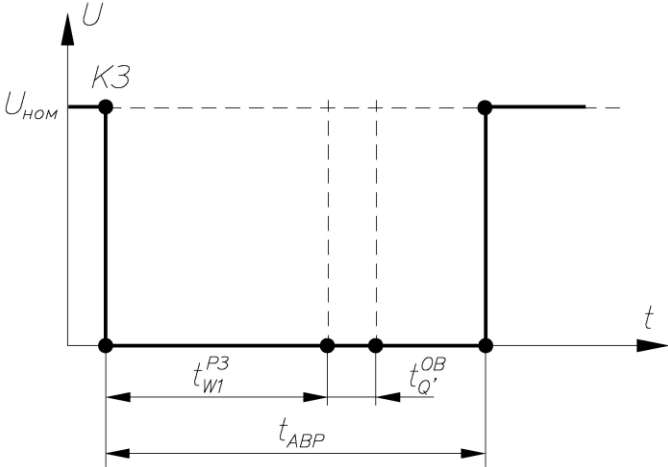
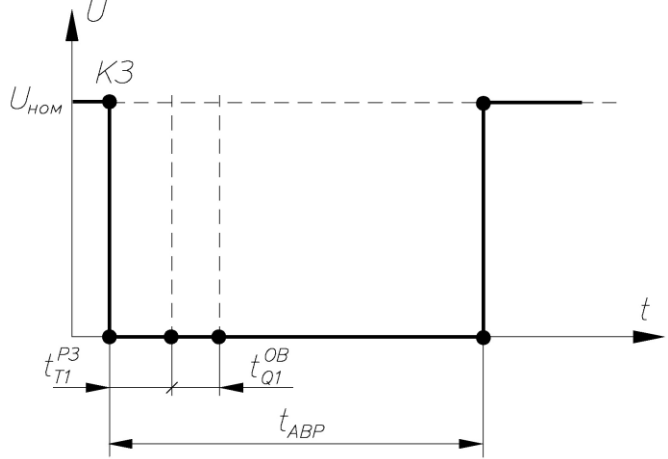


Рисунок 9 – Гистограмма вероятностей провалов напряжения

Таблица 14 – Повреждения и эпюры напряжения на шинах потребителя при установке устройства АВР на выключателях нагрузки на стороне 0,4 кВ

Точки повреждения	Место повреждения	Эпюра напряжения на шинах потребителей 0,4 кВ	Длительность провала t_{II} , с
К1	Питающая линия 10 кВ		1,2 (определяется временем полного цикла АВР)
К2	Отходящая линия 10 кВ		1,2 (определяется временем полного цикла АВР). Глубина провала может изменяться в пределах $(0-0,9)U_{ном}$ в зависимости от удаленности места повреждения

Продолжение таблицы 14

Точки повреждения	Место повреждения	Эпюра напряжения на шинах потребителей 0,4 кВ	Длительность провала t_{II} , с
К3	Шины распределительного устройства 10 кВ		1,2 (определяется временем полного цикла АВР)
К4	Силовой трансформатор 10/0,4 кВ		1,2 (определяется временем полного цикла АВР)

Продолжение таблицы 14

Точки повреждения	Место повреждения	Эпюра напряжения на шинах потребителей 0,4 кВ	Длительность провала t_{II} , с
К5	Шины распределительного устройства 0,4 кВ		<p>При повреждении на шинах 0,4 кВ локализация повреждения происходит предохранителем F2 после срабатывания устройства АВР</p>
К6	Отходящая линия 0,4 кВ		<p>0,02 (определяется временем срабатывания предохранителя 0,4 кВ). Глубина провала может изменяться в пределах (0-0,9)U_{ном} в зависимости от удаленности места повреждения</p>

Продолжение таблицы 14

Точки повреждения	Место повреждения	Эпюра напряжения на шинах потребителей 0,4 кВ	Длительность провала t_{II} , с
К7	Шины распределительного устройства 0,4 кВ («соседняя» секция)		0,02 (определяется временем срабатывания предохранителем 0,4 кВ F1)
К8	Питающая линия 0,4 кВ		В случае короткого замыкания на линии 0,4 кВ, повреждение локализуется предохранителем, установленным на этой линии, и происходит полное отключение потребителей

И в итоге для исследуемых схем получаем следующие сопоставительные результаты, приведенные в таблице 15.

Таблица 15 – Итоговые данные по надежности

Тип АВР	Вероятность отказа схемы		
	состояние 1	состояние 2	состояние 3
0,4 кВ (автоматические выключатели)	$2,22 \cdot 10^{-4}$	$5,65 \cdot 10^{-4}$	$1,55 \cdot 10^{-4}$
0,4 кВ (выключатели нагрузки)	$2,16 \cdot 10^{-4}$	$5,86 \cdot 10^{-4}$	$2,67 \cdot 10^{-4}$
Примечание. состояние 1 – нормальное состояние схемы состояние 2 – состояние схемы после успешного срабатывания устройства АВР состояние 3 – состояния схемы после включения межсекционной перемычки			

Наилучшими показателями характеризуется схема ТП 10/0,4 кВ с АВР на стороне 0,4 кВ на базе автоматических выключателей.

2.8 Расчет защит трансформатора

В соответствии с требованиями ПУЭ для трансформатора 10/0,4 кВ должны быть установлены защиты:

- токовая отсечка,
- МТЗ,
- газовая защита,
- МТЗ от перегрузок.

По исходной схеме видно, что защита должна охватывать блок линия-трансформатор.

Расчет токовой отсечки

Ток трехфазного к.з. на шинах 0,4 кВ определяется по формуле:

$$I_{кз}^{(3)} = (100) * I_{номТр} / e, \text{ к\%} \quad (59)$$

где $e_{к\%}$ – напряжение короткого замыкания трансформатора в %,

приводимое в паспорте на трансформатор.

Номинальный ток вводного автомата:

$$I_{номВА} \geq K_{пер} * I_{номТР} \quad (60)$$

где $K_{пер} = 1,4$ – коэффициент перегрузки для масляных трансформаторов;

$K_{пер} = 1,1 \text{ _ } 1,2$ – коэффициент перегрузки для сухих трансформаторов по паспорту;

$I_{номТР}$ – номинальный ток трансформатора на стороне н/н.

$$I_{номВА} = 1,4 \cdot 1445 \text{ А} = 2023 \text{ А}$$

Выбираем автомат NW20H1.

Выбор секционного автомата 0,4 кВ.

Номинальный ток автомата определяется по формуле:

$$I_{номСА} = 0,7 * I_{номВА} \quad (61)$$

где 0,7 – коэффициент неравномерности распределения нагрузки по секциям 0,4 кВ.

Для масляного трансформатора 1000 кВА:

$$I_{номСА} = 0,7 * 2000 = 1400 \text{ А}$$

принимаем: $I_{номСА} = 1600 \text{ А}$.

$$I_{сзСА} = 0,7 * 1,4 * 1445 = 1416 \text{ А}.$$

За уставку предварительно принимается наибольший ток срабатывания защиты по условиям «а» и «б».

$$I_{сз} = 1416 \text{ А.}$$

Определяем ближайшую наибольшую уставку реле Micrologic по формуле:

$$I_r = K * I_n. \quad (62)$$

$$I_r = 0,9 * 1600 = 1440 \text{ А.}$$

При $k=0,8$ $I_r = 1280 \text{ А} < 1416 \text{ А.}$

Ближайшая уставка времени срабатывания защиты секционного автомата, обеспечивающая селективность во всем диапазоне токов перегрузки:

$$T_r = 4 \text{ сек при } I = 6 * I_r$$

Выбор тока срабатывания селективной токовой отсечки (I_{sd}).

Принимаем уставку $I_{sdCA} = 6 * I_r$, т.е. 8640 А.

$$t_{sdCA} = 0,1 \text{ сек в зоне } I^2t \rightarrow \text{OFF.}$$

Выбор тока срабатывания защиты от перегрузки трансформатора (I_r) в аварийном режиме:

$$I_{срВА} = (K_{пер}) * I_{номТГР} = (1,4) * 1445 = 2023 \text{ А.} \quad (63)$$

где K_v 1,0

$$I_r = 1,0 * I_n = 1,0 * 2000 = 2000 \text{ А.}$$

Выбор времени срабатывания защиты от перегрузки трансформатора (t_r).

Принимаем уставку, обеспечивающую селективность в зоне перегрузки:

$$t_r = 4 \text{ сек при } 6 * I_r ,$$

Согласование с током срабатывания селективной токовой отсечки секционного автомата

$$I_{сзВА} = K_c * I_{sdCA} = 1,15 * 8640 = 9936 \text{ А}, \quad (64)$$

где $K_c = 1,15$ – коэффициент согласования защит, учитывающий разброс реле $\pm 10\%$.

Это соответствует уставке:

$$I_{sdBA} = 5,0 * I_r = 5,0 * 2000 = 10000 \text{ А}.$$

Время срабатывания селективной токовой отсечки (tsd):

$$tsd_{BA} = tsd_{CA} + \Delta t = 0,1 + 0,1 = 0,2 \text{ сек} \quad (65)$$

Принимаем $tsd_{BA} = 0,2$ сек в зоне $I_{2t} \rightarrow \text{OFF}$.

Выбор тока срабатывания защиты трансформатора первой ступени ($I >$).

Согласование с тепловой защитой (защитой от перегрузки) вводного автомата 0,4 Кв

$$I_{сз} \geq K_c * I_{rBA} \quad (66)$$

где $K_c = 1,4$ – коэффициент согласования, учитывающий погрешность VIP300LL (1,05) и реле ввода (1,2), а также запас (1,1).

$$I_{сз} \geq 1,4 * 2000 = 2800 \text{ А}.$$

Согласование с током срабатывания МТЗ распредабеля (р/к)

$$I_{сз} \leq I_{сзр\text{к}} / K_c; \quad (67)$$

где $K_c = 1,3 - 1,4$ – коэфф. согласования реле VIP 300 LL.

Для нашего варианта $I_{сз} у 12500 / 1,4 \leq 8900 \text{ А}$.

Обеспечение коэфф. чувствительности $K_{ч}^{(2)} = 1,5 \text{ VIP300LL}$ при 2-хф.

к.з. за трансформатором в минимальном режиме $I_{с.з.} = \frac{I_{K5MIN}^{(2)}}{K_{ч}}$.

Для трансформаторов с группой соединения обмоток Δ / Y_n при установке защиты в 3-хфазах ток $I_{кз}^{(2)} = I_{кз}^{(3)}$,

Тогда

$$I_{сз} = 28900 / 1,5 = 19260 \text{ А}.$$

За расчетный ток срабатывания защиты принимается $I_{сз} = 2800 \text{ А}$.

Это соответствует току фазного к.з. $I_{сз} / (1,2 \cdot K_{тн})$

$K_{тн} = 2,5$ – коэффициент трансформации силового трансформатора.

Тогда получаем:

$$IS = 2800 / (1,2 \cdot 25) = 93,33 \text{ А}$$

Принимаем большее значение $IS = 112 \text{ А}$

Выбор верхней второй ступени защиты

Согласование с током срабатывания селективной токовой отсечкой вводного автомата $I_{sd_{BA}}$.

$$I_{сз} = 1,1 \cdot I_{sd_{BA}} = 1,1 \cdot 10000 = 11000 \text{ А}. \quad (68)$$

Ближайшая уставка на реле VIP300LL равна $I \gg 4 \cdot IS$

Т.е.

$$I \gg 4 \cdot 112 \cdot 25 = 11200 \text{ А}.$$

Для сети 6 – 10 кВ с изолированной нейтралью защита от однофазных замыканий на землю в обмотках трансформаторов не используется.

Ток срабатывания отсечки:

$$I_{CO} \geq k_{отс} \cdot I_{кз.вн.макс} = 1,15 \cdot 457 = 525,6 \text{ А} \quad (69)$$

Ток КЗ в точке К2, протекающий через сторону 10 кВ трансформатора, равен:

$$11426 \cdot 0,4 / 10 = 457 \text{ А}$$

Для SEPAM $k_{отс} = 1,1 \dots 1,15$.

Отстройка от броска тока намагничивания:

$$I_{CO} \geq K_{отс} \cdot K_{БР} \cdot I_{ном.Т1}$$

$$I_{CO} \geq 1,15 \cdot 7,05 \cdot 57,8 = 468 \text{ А}$$

По двум условиям выбирается больший ток 525,6А:

Проверка токовой отсечки по чувствительности при КЗ в точке К1:

Коэффициент чувствительности:

$$k_{\chi} = \frac{I_{К1MIN}^{(2)}}{I_{CO}} = \frac{0,87 \cdot 17560}{525,6} \geq 2 \quad (70)$$

Защита выполняется на первой ступени МТЗ SEPAM код ANSI 50/51.

Для обеспечения селективности действия защиты время срабатывания отсечки выбираем $t_{с.о.} = 100 \text{ мс}$.

Ток срабатывания максимальной токовой защиты определяем по формуле:

$$I_{с.з} = \frac{k_n \cdot k_{сзн}}{k_g} \cdot I_{раб.макс}, \quad (71)$$

где k_n – коэффициент надежности;

k_g – коэффициент возврата;

$k_{сзп}$ – коэффициент самозапуска.

Принимаем $k_{сзп} \geq 1,1 \div 1,3$.

Определяем ток срабатывания МТЗ W -Т:

$$I_{сзWB}^{III} \geq \frac{1,1 \cdot 1,3}{0,935} \cdot 57,8 = 86,7 \text{ A}$$

Коэффициент возврата принимается равным $Kв = 0,935$

$K_{сзп} = 1,1 - 1,3$.

Коэффициент надежности $Kн = 1,1$.

Определение чувствительности МТЗ блока линия – трансформатор в основной зоне действия (К2):

$$k_{ч}^{III} = \frac{I_{K3MIN}^{(2)}}{I_{сзWB}^{III}} = \frac{0,5 \cdot 457}{86,7} = 2,6 \geq 1,5; \quad (72)$$

При согласовании с автоматическим выключателем стороны 0,38 кВ ступень селективности для терминала Seram принимается $\Delta t = 0,3$ сек. Время срабатывания реле SEPAM определяем при К.З. в точке К2 по выражению:

$$t_{сзW-T} = t_{сзQF} + \Delta t \quad (73)$$

Определяем время срабатывания выключателя NW20H1 (рисунок 10).

Кратность тока при двухфазном КЗ составит:

$$K = 0,87 \cdot 11426 / 2000 = 5$$

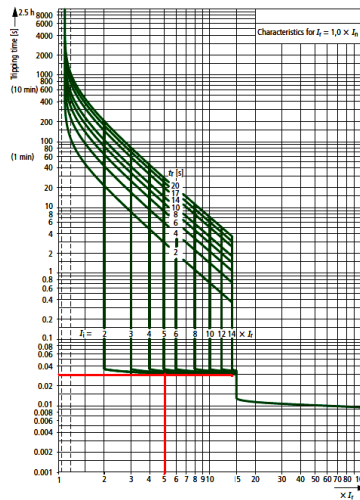


Рисунок 10 – Токовременная характеристика автомата

Автомат NW20Н1 отключится за 0,03 с.

МТЗ трансформатора по требованию селективности должна сработать на ступень селективности позже. Для SEPAM $\Delta t = 0.3$ с.

Тогда время срабатывания МТЗ трансформатора:

$$t_{C.3.W-T} = 0,03 + 0,3 = 0,303c$$

Определяем кратность тока в реле Sepam

$$I_{расч} = I^{(2)}_K = 0,87 \cdot 457 = 397,6A;$$

$$\frac{397,6}{86,7} = 4,5$$

Для характеристики SEPAM коэффициент TMS рассчитываем по выражению:

$$TMS = \frac{t_{C.3.}(I_*) \cdot (I_*^\alpha - 1)}{k} = \frac{0,415 \cdot (4,5^{0,02} - 1)}{0,14} = 0,14 \quad (74)$$

$$TMS = 0,2.$$

$$t = \frac{k}{I_*^\alpha - 1} = \frac{0,2 \cdot 0,14}{4,5^{0,02} - 1} = 0,57 \quad (75)$$

Защита от перегрузки ANSI 50/51

Ток срабатывания защиты:

$$I_{c.з} = \frac{k_{отс}}{k_\epsilon} I_n = \frac{1,05}{0,94} \cdot 57,8 = 64,5 A$$

Время срабатывания защиты принимаем 9 с.

Резервная защита нулевой последовательности на стороне 0,4 кВ

Ток срабатывания защиты:

$$I_{c.з} \geq k_{отс} \cdot I_{ном. T1.1}; \quad (76)$$

где $k_{отс} = 1,2$ – для трансформаторов Д/У_н.

$$I_{c.з} \geq 1,2 \cdot 1445 = 1734 A$$

2.9 Описание схемы электрической принципиальной щита автоматического переключения

В своей работе применяем принципиальную электрическую схему автоматического ввода резерва АВР типа «Два рабочих ввода на две секции шин с секционированием.»

Схема АВР разработана на автоматах марки Masterpact NW.

Блок управления схемы АВР (БУАВР) выполнен на реле типа Zelio Logic (рисунок 11).

Оно выполняет следующие функции:

- функции управления выключателями,
- контроль положения выключателей,
- регулирование выдержки времени,
- функции самодиагностики,

– возможность использования диспетчерской системы.

Фазовый мониторинг и контроль напряжения обеспечивается защитой на реле RM4TR32.

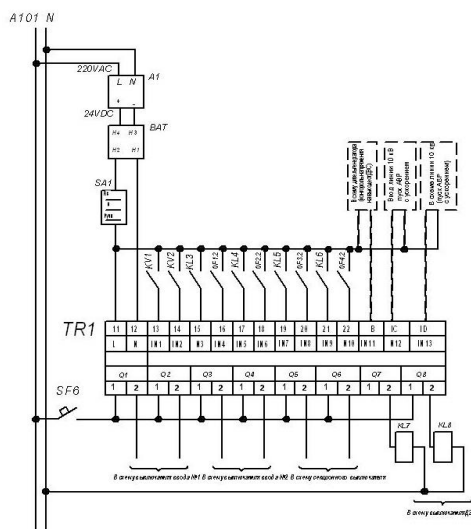


Рисунок 11 – Схема подключения реле типа Zelio Logic

Интеллектуальное реле (микроконтроллер) Zelio Logic является независимым микроконтроллером.

Указанное реле содержит блоки, которые служат для обработки шести входных сигналов. На основе этих сигналов в программном обеспечении генерируются сигналы реле. Zelio Logic включает в себя восемь временных таймеров для управления выходными сигналами в функции времени и восемь счетчиков, которые используются для программной обработки импульсных входных сигналов.

Для сохранения текущего состояния входных и выходных сигналов в программном обеспечении реле используется пятнадцать элементов памяти (катушки памяти).

Схема подстанции на стороне 0,4 кВ представлена на рисунке 12.

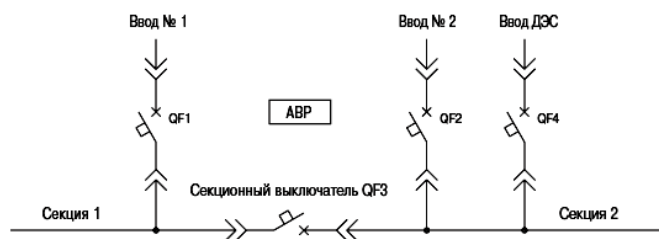


Рисунок 12 – Схема подстанции на стороне 0,4 кВ

Описание работы АВР. SE3_БУ01(03) по схеме «Два рабочих ввода с секционированием + ввод от ДЭС» в случае нарушения питания на вводе (рисунок 11, 12): в случае сбоя питания при входе 1 изменится положение контактов реле напряжения KV1 (рисунок 13). По истечении задержки времени $t-1$, выдается команда, чтобы отключился автоматический выключатель QF1 секции, на которой исчезло напряжение.

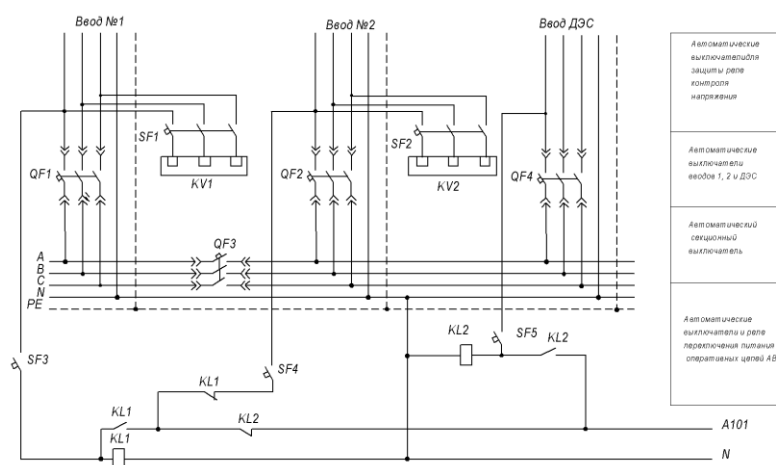


Рисунок 13 – Схема АВР

Команда для закрытия секционного выключателя QF3 выдается с задержкой времени, равной $t1$, при следующих условиях:

- выключатель QF1 (QF2) секции, которая "потеряла" питание, выключен; уровень напряжения на участке, который "потерял" мощность меньше, чем заданная настройка,
- наличие напряжения на резервной секции,

- нет сигнала при вводе "Блокирующий АВР",
- переключатель для выбора режима SA1 в позиции "Авт".

При срабатывании АВР появляется сигнал: QF1 «ОТКЛ»; QF2 «ВКЛ»; QF3 «ВКЛ» (рисунок 14).

Если питание на 1 секции восстановится за время меньше, чем t_1 , то включение выключателя QF3 не происходит, а выключатель QF1 включается. При этом происходит восстановление питания на секции, а схема АВР возвращается в исходное состояние.

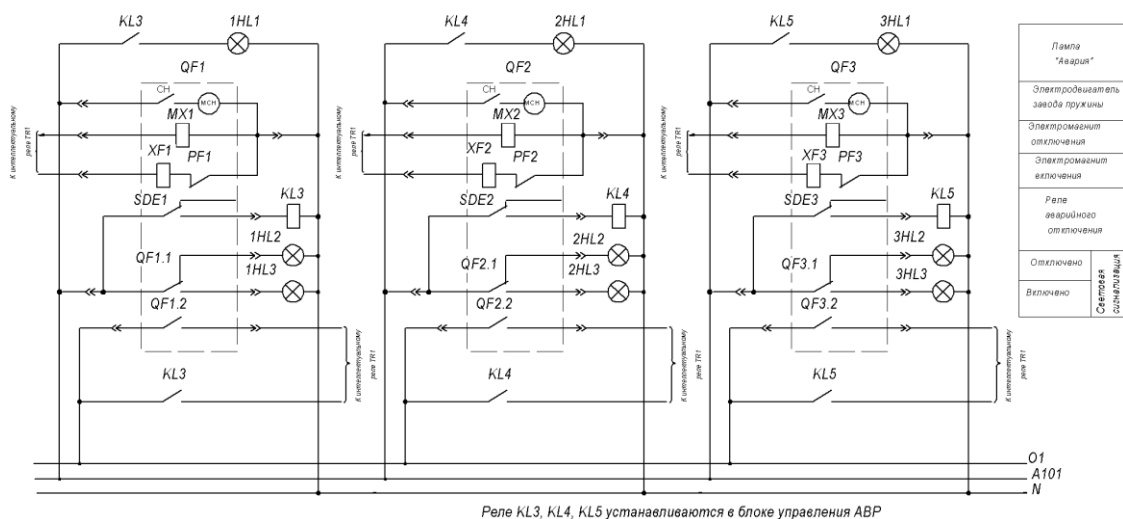


Рисунок 14 – Схема подключения выключателей

При исчезновении питания на обеих секциях произойдет переключение контактов реле минимального напряжения KV1 и KV2. После задержки времени t_5 , команды выдаются, чтобы отключить выключатели QF1 и QF2. После этого, через 50 мс после мониторинга открытого положения положения рабочих входных выключателей, БУАВР подает команду на запуск дизельной электростанции и включение секционного выключателя QF3. Сигнал к запуску дизельной электростанции дискретен, с продолжительностью 1 сек.

Включение выключателя QF4, который разрешает запуск дизельной электростанции, происходит, если соблюдаются следующие условия:

- вводные автоматические выключатели QF1 и QF2 отключены,

- секционный выключатель QF3 включен,
- на выходе от ДЭС существует напряжение питания,
- на входе «Блокировка АВР» нет дискретного сигнала,
- переключатель SA1 в положении «Авт.».

В обычном режиме операционные схемы питаются от ввода 1 через контакты 13,14 промежуточного реле KL1. Когда пропадет питание на вводе 1, промежуточное реле замыкает свои контакты 21, 22. Через контакты 21, 22 питание подается в операционные схемы от ввода 2.

Реле KV1 и KV2 подключаются на междуфазные напряжения вводов 1 и 2 через выключатели SF1 и SF2. Программируемое интеллектуальное реле запитывается напряжением 24 В от источника постоянного тока А1. В цепь питания схемы «Два ввода с секционированием плюс ввод от ДЭС» установлена аккумуляторная батарея ВАТ.

При срабатывании АВР появляется сигнал «QF1 и QF2 «ОТКЛ»»; «QF3 и QF4 «ВКЛ»».

Если в течение 100 с после подачи сигнала на пуск ДЭС напряжение на выходе ДЭС не имеет должного уровня, работа схемы АВР завершается и поступает сигнал «Неисправность ДЭС».

Если хотя бы на одном рабочем вводе появляется питание и напряжение достигает нормального значения, в блок АВР поступает сигнал на запуск схемы «восстановления нормального режима». Через время, равное выдержке времени уставки t_6 , подается сигнал на отключение выключателя QF4. После чего происходит остановки ДЭС. При этом секционный выключатель QF3 остается включенным.

Если восстанавливается питание на обоих рабочих вводах 0,4 кВ, то вдобавок поступает сигнал на отключение секционного автоматического выключателя QF3.

Все команды подаются устройством БУАВР.

БУАВР подает сигнал на включение автоматических выключателей QF1, QF2 при соблюдении следующих условий:

– величина напряжения на рабочих вводах №1 и №2 не ниже требуемого,

– автоматические выключатели QF3, QF4 отключены .

Блокировка работы БУАВР происходит, если:

– автоматические выключатели вводов №1 и №2 отключены вручную обслуживающим персоналом,

– автоматические выключатели QF1, QF2, QF3 или QF4 отключились после срабатывания устройств противоаварийной защиты,

– блок управления АВР неисправен.

В схеме предусмотрена возможность ручного отключения или включения автоматических выключателей QF1, QF2, QF3 и QF4.

Это необходимо в случае неисправности блока АВР .

Вывод

В проекте предусмотрена прокладка кабелей с негорючей изоляцией с медными жилами.

Все автоматические выключатели быстродействующие с УЗО.

Применены энергосберегающие светильники.

Все выбранное оборудование соответствует требованиям.

БУАВР обеспечивает бесперебойное электроснабжение управления связи.

3 Расчет заземления подстанции

Система заземления выполнена по системе TN-C-S (~380/220В, 3 фазы, нулевой рабочий (N) и нулевой защитный (PE) проводники).

Точка деления нулевых рабочих и защитных проводников принята на РУ-0,4 кВ подстанции. В помещениях подстанции предусмотрена установка главных заземляющих шин (ГЗШ).

На вводе в здание офиса предусматривается система уравнивания потенциалов. Для этого в соответствии с требованиями ПУЭ соединяем все металлические коммуникации, инженерные сети, металлоконструкции здания с главной шиной заземления здания.

В качестве заземляющего устройства 0,4 кВ, общего для всех электроустановок, системы защитного заземления, уравнивания потенциалов и системы молниезащиты используем искусственный контур повторного заземления, прокладываемый по периметру офиса. В качестве естественного заземлителя используем монолитный железобетонный фундамент, который соединяется с общим контуром заземления [15].

Для установок до 1000 В и выше рассматриваем два значения нормативных сопротивлений устройства:

$R_{з\text{у}} = 4 \text{ Ом}$ – для стороны до 1000 В;

$R_{з\text{у}} \leq \frac{125}{I_3}$ – для стороны выше 1000 В.

За расчётное значение принимаем меньшее из этих двух значений.

Определяем сопротивление заземляющего устройства:

$$R_{з\text{у}} \leq \frac{125}{I_3}, \quad (77)$$

где $I_3 = 8 \text{ А}$ - емкостной ток замыкания на землю сети выше 1000В,
(по запросу).

$$R_{3y} \leq \frac{125}{8} = 15,6 \text{ Ом.} \quad (78)$$

Таким образом, определяющим для расчёта является требование:

$$R_{3y} = 4 \text{ Ом.}$$

Определяется расчетное удельное сопротивление земли с учетом коэффициента сезонности:

– для горизонтального электрода $\rho_{\Gamma} = \rho \cdot K_c = 115 \cdot 3,0 = 345 \text{ Ом} \cdot \text{м}$,

– для вертикального электрода $\rho_{\text{В}} = \rho \cdot K_c = 115 \cdot 1,25 = 143,75 \text{ Ом} \cdot \text{м}$,

где $K_c=1,1-1,35$ – коэффициент сезонности, учитывающий промерзание и просыхание грунта;

$\rho=115 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ – удельное сопротивление грунта.

Заземляющее устройство выполняем в виде выносного контура.

В качестве вертикальных электродов используем круглые стальные стержни диаметром 18 мм и длиной $l=5 \text{ м}$.

Верхний конец электрода закрепляем ниже уровня земли на 0,7 м.

Сопротивление одного вертикального электрода длиной $l=5 \text{ м}$:

$$R_{\text{В}} = 0,228 \cdot \rho_{\text{В}} = 0,228 \cdot 143,75 = 32,7 \text{ Ом.} \quad (79)$$

Определяем ориентировочное число вертикальных заземлителей:

$$n = \frac{R_{\text{В}}}{R_{3y} \cdot K_{\text{и.в.}}} = \frac{32,7}{4 \cdot 0,56} = 14,6, \quad (80)$$

Предварительно принимаем $n = 15$.

Горизонтальный заземлитель выполняем из полосовой стали 40×6 мм.
Общая длина полосы $l = 170$ м.

Определяется сопротивление полосы:

$$R'_r = \frac{R_r}{K_{и.г.}} = \frac{5,4}{0,27} = 20 \text{ Ом}; \quad (81)$$

где R_r – сопротивление горизонтальной полосы:

$$R_r = \frac{2 \cdot \rho_p}{l} = \frac{2 \cdot 345}{170} = 4,0 \text{ Ом}; \quad (82)$$

$K_{и.г.}$ – коэффициент использования горизонтальных электродов
($K_{и.г.}=0,3-0,4$).

Определяется необходимое сопротивление вертикальных электродов с учетом горизонтальной полосы:

$$R_{в.г.} = \frac{R'_r \cdot R_{з.у.}}{R'_r - R_{з.у.}} = \frac{15 \cdot 4}{15 - 4} = 5,4 \text{ Ом} \quad (83)$$

Определяется уточненное число вертикальных электродов

$$n_{ут.} = \frac{R_B}{R_{в.г.} \cdot K_{и.в.}} = \frac{32,7}{5,4 \cdot 0,56} = 10,8. \quad (84)$$

Окончательно принимаем в контуре 11 вертикальных заземлителей.

Тогда, сопротивление вертикальных электродов $R'_в$, Ом составит

$$R'_B = \frac{R_B}{n_B \cdot K_{и.в.}} = \frac{32,7}{11 \cdot 0,56} = 5,3 \quad (85)$$

Сопротивление заземляющего устройства в целом $R_{з.у.}$, Ом определим по формуле:

$$R_{3,y} = \frac{R'_B \cdot R_\Gamma}{R'_B + R_\Gamma} = \frac{5,3 \cdot 4}{5,3 + 4} = 2,28 \text{ Ом} \quad (86)$$

Таким образом, требование $R_{3y} < 4 \text{ Ом}$ выполняется.
 План заземления подстанции показан на рисунке 15.

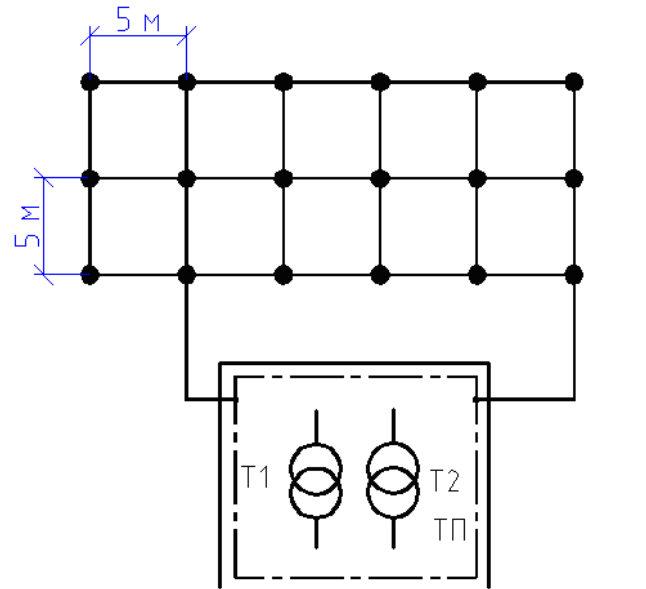


Рисунок 15 – План заземления подстанции

Вывод

Устройство заземления соответствует требованиям ПУЭ.

Заключение

В выпускной квалификационной работе произведен расчет электроснабжения района города с подробным рассмотрением электроснабжения административного здания управления связи и аварийно диспетчерской службы.

Спроектированная выпускная квалификационная работа полностью соответствует действующим стандартам, руководящим указаниям, правилам технической эксплуатации и правилам техники безопасности.

Решения приняты самостоятельно и соответствуют современным требованиям проектирования систем электроснабжения городских потребителей.

Расчетные нагрузки жилых и общественных зданий определены по удельным нагрузкам в соответствии с [12].

Подробно рассчитана мощность административного здания офиса связи.

В проекте определена расчетная мощность на шинах 0,38 кВ ТП, выбран тип подстанции 10/0,4 кВ и мощность силовых трансформаторов.

В соответствии с требованиями ПУЭ для трансформатора подстанции установлены защиты на термине Серам, которые обеспечивают выявление повреждений в трансформаторе с высокой точностью.

Схема распределительной сети напряжением 0,38 кВ принята радиальной.

Сеть 0,38 кВ выполнена кабелем ВВГнг-LS.

Распределительная сеть напряжением 10 кВ выполнена кабелем Alcsecure N2XH.

Выбрана коммутационно-защитная аппаратура.

Рассчитаны токи короткого замыкания, по которым проведена проверка параметров оборудования.

Рассчитано заземление подстанции.

Список используемых источников

1. Афонин В. В. Электрические станции и подстанции [Электронный ресурс]: учеб. пособие. В 3 ч. Ч. 1 / В. В. Афонин, К. А. Набатов ; Тамбовский гос. техн. ун-т. - Тамбов : ТГТУ : ЭБС АСВ, 2015. - 90 с. : ил. - ISBN 978-5-8265-1387-3. <http://www.iprbookshop.ru/64621.html>
2. Вахнина, В. В. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / В. В. Вахнина [и др.]; ТГУ ; Ин-т энергетики и электротехники ; каф. "Электроснабжение и электротехника". - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2016. - 78 с. : ил. - Библиогр.: с. 76-78. - ISBN 978-5-8259-0929-5. <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2976>.
3. Каталог продукции. Кабели. УНКОМТЕХ. 2019.
4. Колесник, Г. П. Электрическое освещение: основы проектирования: учеб. пособие / Г. П. Колесник; Владим. гос. ун-т.– Владимир : Изд-во Владим. гос.ун-та, 2019. – 127 с.
5. Компоненты и технологии №8. Новая технология Unicore для изготовления магнитопроводов. 2006.
6. Лещинская, Т.Б. Электроснабжение сельского хозяйства / Т.Б. Лещинская, И.В. Наумов. – М.: КолосС, 2008. – 655 с.
7. Немировский, А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Е. Немировский, И.Ю. Сергиевская, Л.Ю. Крепышева. - М: "Инфра-Инженерия", 2018. - 148 с.- ISBN 978-5-9729-0207-1. <https://new.znanium.com/catalog/document?id=326355>.
8. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок от 15.12.2020 N 903н.
9. Правила устройства электроустановок. 7-ое изд., переработанное и дополненное. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 692 с.

10. Приказ Минэнерго России от 13.01.2003 N 6 "Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей" (Зарегистрировано в Минюсте России 22.01.2003 N 4145).

11. Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования. Учебное пособие для студентов высш. учеб. заведений/ И.П. Крючков, Б.Н. Неклепаев, В.А. Старшинов и др. – М.: Издательский центр «Академия». 2014 – 416с.

12. РД 34.20.185-94. Инструкция по проектированию городских электрических сетей.

13. Рекомендации по проектированию автоматического управления освещением в зданиях с помощью датчиков присутствия, датчиков движения и датчиков освещенности в проектах систем освещения для экономии электроэнергии. ООО «ИЗИЛЮКС РУС». 2012.

14. Русина, А. Г. Режимы электрических станций и электроэнергетических систем [Электронный ресурс]: учебник / А. Г. Русина, Т. А. Филиппова. - Электрон. текстовые данные. - Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2014. - 400 с. -. - ISBN 978-5-7782-2463-6. <http://www.iprbookshop.ru/45157.html>.

15. СО 153-34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений и промышленных коммуникаций [Текст]. / Базелян Э.М., Берлина Н.С., Борисов Р.К., Колечицкий Е.Г., Максимов, Б.К., Портнов Э.Л., Соколов С.А., Хлапов А.В. - М.: Издательство МЭИ, 2003. - 82 с.

16. Соловьев, А. Л. Релейная защита городских электрических сетей 6 и 10 кВ [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. Л. Соловьев, М. А. Шабад ; под ред. А. В. Беляев. - Электрон. текстовые данные. - СПб. : Политехника, 2016. - 176 с. - 978-5-7325-1100-0. <http://www.iprbookshop.ru/59516.html>.

17. СП 31-110-2003. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий.

18. СП 52.13330.2011. Свод правил. Естественное и искусственное освещение.

19. Техническая информация. Устройства комплектные распределительные серии «Nexima». Ишлейский завод высоковольтной аппаратуры.

20. Техническое описание КЛВЕ 674833. ООО «КРУЭЛТА» Комплектные трансформаторные подстанции модульные типа СКР мощностью до 2500кВА, на номинальное напряжение 6(10)/0,4кВ. 2017.

21. Указания по расчету электрических нагрузок РТМ 36.18.32.4-92(переработан технический циркуляр ВНИПИ Тяжпромэлектропроект № 359-92 от 30 июля 2014 г.).

22. Федеральный закон "Об электроэнергетике" от 26.03.2003 N 35-ФЗ.

23. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое руководство для курсового проектирования.— М.:ФОРУМ:ИНФРА—М, 2014.—214 стр.

24. Электроснабжение объектов. Ч. 2. Расчет токов короткого замыкания в электроустановках до 1000 В: учебное пособие/ А.В. Кабышев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009 – 168 с.

25. Яхонтова, О. Электроснабжение и электропотребление в строительстве: Учебное пособие / О. Яхонтова, Л. Валенкевич, Я. Рутгайзер. - СПб.: Лань, 2012. - 512 с.