

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 Реконструкция электрической части коммутационного пункта КП-8 ОАО
«Нафтан»

Обучающийся

Г.А. Резько

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

С.В. Шлыков

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2022

Аннотация

Объектом разработки является коммутационный пункт КП-8 ОАО «Нафтан».

Цель проекта: реконструкция электрической части коммутационного пункта КП-8 ОАО «Нафтан».

В процессе проектирования выполнены следующие разработки:

- проектирование системы вентиляции и отопления;
- определение электрической нагрузки потребителей 0,4 кВ;
- расчет распределительной сети 0,4 кВ;
- определение суммарной нагрузки подстанции;
- выбор электрооборудования 6 кВ;
- расчет уставок защит питающих и отходящих линий;
- описание АСУ ЭП предприятия.

Спроектированная схема электроснабжения удовлетворяет ряду требований: высокая надежность и экономичность, безопасность и удобство в эксплуатации, обеспечено требуемое качество электроэнергии, соответствующие уровни напряжения.

Проектирование производится на основе действующих технических норм и методик расчета с использованием актуального электрооборудования, что делает данный проект расчета электрической части подстанции завода современным и актуальным.

Содержание

Введение	4
1 Проектирование системы вентиляции и отопления объекта	6
2 Расчет суммарной электрической нагрузки РУ-0,4 кВ	10
3 Расчет распределительной сети 0,4 кВ. Выбор пусковой и защитной аппаратуры	14
4 Определение расчетных нагрузок 6 кВ	23
5 Расчет токов короткого замыкания в сети 6 кВ	28
6 Проверка кабелей на действие токов короткого замыкания	38
7 Выбор электрооборудования напряжением 6 кВ	39
8 Релейная защита и автоматика	47
9 Автоматизированная система управления электроснабжением предприятия	66
Заключение	70
Список используемых источников	72

Введение

Целью данной выпускной работы является реконструкция коммутационного пункта КП-8 и разработка мероприятий по диагностике и техническому обслуживанию электрооборудования.

Коммутационный пункт КП-8 предназначен для питания ряда трансформаторных подстанций установки получения серной кислоты, распределительных подстанций 6 кВ установок налива светлых нефтепродуктов, установки спецреагентного хозяйства и другое.

Необходимость модернизации КП-8 продиктована физическим и моральным старением оборудования (ячейки К-3у с масляными выключателями ВМГ-133 и приводом ППМ-10), отсутствием запасных частей, невозможностью расширения для подключения новых мощностей и расположением кабельных каналов ниже нулевой отметки.

Новое здание КП-8 состоит из помещений РУ-6 кВ, РУ-0,4 кВ, щитовой и приточной венткамеры. В помещении РУ-0,4 кВ предусматривается место под ЩСУ.

Годовое число часов использования максимума нагрузки составляет 7650 ч/год.

В отношении надежности электроснабжения, подключаемые к КП-8 электроприемники 6кВ, относятся к 1 категории. Для электроприемников собственных нужд, а также электроприемников 0,4/0,23 кВ близлежащих объектов, в здании КП-8а предусматривается комплектная трансформаторная подстанция КТПСП-2×400 кВА фирмы АВВ, с технологией выдвижных модулей типа MNS. Подстанция однорядная с трансформаторами сухого исполнения типа TESAR. Электроприемники 0,4/0,23 кВ относятся к 1, 2, 3 категориям надежности электроснабжения.

Комплектное распределительное устройство 6 кВ (КРУ) комплектуется шкафами для внутренней установки типа ZS1 фирмы АВВ, с выдвижными элементами и одинарными системами сборных шин. Расположение шкафов

двухрядное, с нижним шинным мостом. Шкафы укомплектованы вакуумными выключателями VD4-12 с пружинным приводом. Управление, защита, измерение и контроль сетей выполнена на базе микропроцессорных терминалов защиты REM-543, REF541, 545. Для определения наличия рабочего напряжения 6 кВ в вводных шкафах устанавливается емкостной интегрированный индикатор KUVAG. В случае увеличения количества подключаемых электроприемников, в помещении КРУ-6 кВ предусматриваются места под резервные шкафы. С целью дальнейшего повышения надежности и гибкости внутризаводских сетей электроснабжения, на КП-8а предусматривается по два вводных шкафа на каждую секцию.

Источниками электроснабжения КП-8 служат ГРУ 6 кВ НТЭЦ яч.1 (I секция) и яч.36 (III секция). Запитка выполняется по действующим кабельным линиям АСБ-4(3×150), АСБ-3(3×185) от двух разных генераторов.

Питающая и распределительная сеть построена по радиальной схеме. Силовые и контрольные кабели прокладываются открыто, по существующим кабельным конструкциям.

Так как здание КП-8 попадает в зону действия наружной взрывоопасной установки (наливная эстакада с тяжелыми сжиженными горючими газами), поэтому, согласно ПУЭ, помещение РУ оборудуется собственной приточной вентиляционной системой. Кратность воздухообмена равна 5-ти для электропомещений, 3 для помещений венткамеры. Проектом предусматривается устройство системы воздушного отопления, совмещенного с приточной вентиляцией. В качестве устройства для нагрева будет использован электрокалорифер.

1 Проектирование системы вентиляции и отопления объекта

Проектирование системы вентиляции и отопления производится согласно СНБ 4.02.01-03 [18]. Потребляемая тепловая мощность, равная тепловой мощности потерь через ограждающие конструкции (стены, пол и потолок), при отсутствии внутренних источников тепла, определяется по формуле:

$$Q = V \cdot (t_{in} - t_{ext}) \cdot q_{уд}, \quad (1)$$

где V – строительный объем здания, м³;

t_{in} – рабочая температура внутри здания;

t_{ext} – усредненная температура наружного воздуха в холодное время года;

$q_{уд}$ – удельная тепловая характеристика здания, зависящая от устройства ограждающих конструкций (теплоизоляции стен, пола и потолка), принимаемая в диапазоне 0,35-0,6 Вт/м³.

Согласно техническим требованиям для оптимальной работы электрооборудования рабочая температура внутри здания должна составлять не ниже плюс 5 °С.

Расчетная температура наружного воздуха принимается – 25 °С.

Потребляемая тепловая мощность для здания КП-8:

$$Q = V \cdot (t_{in} - t_{ext}) \cdot q_{уд} = 27 \cdot 7,2 \cdot 4,8 \cdot (5 - (-25)) \cdot 0,6 = 16,8 \text{ кВт}.$$

Кроме общего обогрева здания системой отопления, которое компенсирует потери теплоты через ограждающие конструкции, необходимо выполнять и подогрев воздуха, поступающего в здание по системе вентиляции, т.к. соответствующее количество воздуха покидает здание, унося с собой это тепло.

Расчет выполняется по формуле (2):

$$Q_B = 0,28 \cdot \Sigma G \cdot C_B \cdot (t_{in} - t_{ext}) \cdot k \cdot k_p, \quad (2)$$

где ΣG – суммарный объемный расход приточной вентиляции, м³/ч;

C_B – удельная теплоемкость воздуха (1 кДж/(кг °С));

t_{in} – рабочая температура внутри здания (плюс 5 °С);

t_{ext} – усредненная температура наружного воздуха в холодное время года (минус 25 °С);

k – коэффициент присосов воздуха (принимается 1-0,8);

k_p – коэффициент рекуперации теплового потока вентиляции.

При наличии рекуперативных теплообменников утилизации теплоты удаляемого воздуха (что особенно важно для производств с большим выделением пыли и нуждающимся в повышенной мощности вентиляции при пылеудалении) в эту формулу вводят коэффициент рекуперации $k_p = 0,2-0,8$.

Суммарный расход воздуха ΣG , в системах приточной и вытяжной вентиляции принимается 5-ти кратным от объема помещения:

$$\Sigma G = 5 \cdot V = 5 \cdot 933 \approx 5000 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Мощность подогрева воздуха, поступающего из приточной вентиляции:

$$Q_B = 0,28 \cdot \Sigma G \cdot C_B \cdot (t_{in} - t_{ext}) \cdot k \cdot k_p = 0,28 \cdot 5000 \cdot 1 \cdot (5 - (-25)) \cdot 1 \cdot 0,8 = 34 \text{ кВт}.$$

Таким образом, суммарная мощность, необходимая для подогрева воздуха:

$$Q_{\Sigma} = Q + Q_B = 16,8 + 34 = 50,8 \text{ кВт}.$$

Условия выбора калорифера:

$$Q_K / \eta_K \geq Q_\Sigma, \quad (3)$$

$$G_K \geq \Sigma G, \quad (4)$$

где Q_K – мощность калорифера, кВт;

η_K – КПД калорифера;

G_K – производительность по воздуху калорифер, м³/ч.

К установке примем калорифер типа ЭКО-60. Его технические характеристики приведены в таблице 1.

Производительность калорифера ЭКО-60 приведена для перепада температур 65 °С. Расчетное значение перепада температур составляет 30 °С. Следовательно, производительность данного калорифера при расчетном перепаде температур будет выше расчетной ($G_K = 5000 \text{ м}^3/\text{ч}$).

Таблица 1 – Технические характеристики ЭКО-60

Наименование параметра	Значение
Мощность, кВт	67,5
КПД, %	85
Производительность по воздуху, м ³ /ч	4000-7500
Перепад температур на входе и выходе, °С	65
Аэродинамическое сопротивление по воздуху, Па	300

Требуемая мощность двигателя вентилятора:

$$N = \frac{\Sigma G \cdot P_B}{1000 \cdot \eta}, \quad (5)$$

где P_B – расчетное сопротивление сети, Па;

η – КПД вентилятора.

Расчетное сопротивление сети состоит из сопротивлений калорифера, фильтров воздуха и самой конструкции вентилятора. Примем сопротивление сети 600 Па.

Определим требуемую мощность двигателя:

$$N = \frac{\Sigma G \cdot P_B}{1000 \cdot \eta} = \frac{5000 \cdot 600}{1000 \cdot 0,6} = 5 \text{ кВт.}$$

Из расчетных данных примем к установке вентилятор типа ВЦ-14-46 с электродвигателем типа АИР112М4. Технические характеристики данного вентилятора приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики ВЦ-14-46

Марка вентилятора	Электродвигатель			Параметры в рабочей зоне	
	Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Производительность, м ³ 1000/ч	Полное давление, Па
ВЦ-14-46	АИР	5,5	1450	3,81-6,85	1230-1580

Вывод по разделу 1: было произведено проектирование системы отопления и приточной вентиляции объекта. По результатам тепловых расчетов и расчетов системы вентиляции определены электрические мощности приводов вытяжных вентиляторов. В качестве устройства обогрева использован электрический калорифер ЭКО-60. В качестве системы вентиляции использован вентилятор марки ВЦ-14-46 с асинхронным двигателем типа АИР112М4.

2 Расчет суммарной электрической нагрузки РУ-0,4 кВ

Прежде чем приступить к определению расчетных нагрузок необходимо сформировать план распределительной сети подстанции.

Питающую и распределительную сеть 0,4 кВ и 6 кВ построим по радиальной схеме. Силовые и контрольные кабели прокладываются открыто, по существующим кабельным конструкциям, а также по конструкциям, разработанным в данном проекте (в кабельных полуэтажах по кабельным лоткам).

Расчетные нагрузки служат для выбора сечений токоведущих элементов, электрических аппаратов, числа и мощности силовых трансформаторов, преобразовательных и компенсирующих устройств, расчета защиты, определения потерь мощности, энергии и напряжения, а также других параметров режима СЭС.

Расчетные активная P_p , реактивная Q_p и полная S_p мощности – это мощности, соответствующие такой неизменной токовой нагрузке I_p , которая эквивалента фактической изменяющейся во времени нагрузке по наибольшему возможному тепловому воздействию на элемент системы электроснабжения.

Определим нагрузку по секциям и ТСН в целом по форме Ф636-92 согласно РТМ 36.18.32.4-92 [16] и [13].

Перед определением нагрузок необходимо выбрать коэффициент использования K_u для каждого электроприемника, который зависит от характерной категории ЭП и является справочной величиной либо применяется исходя из производственной практики.

Составим ведомость электроприемников РУ-0,4 кВ (таблица 3), в которой будут сведены все расчетные данные ЭП.

Таблица 3 – Ведомость электроприемников КППСП

№ на плане	Наименование ЭП	P_n , кВт	$\cos\varphi_n$	K_u
П-1	Приточный вентилятор	5,5	0,8	0,95
П-1А	Приточный вентилятор (резерв)	5,5	0,8	0,95
О-1 КРУ-6кВ	Освещение релейного отсека КРУ-6кВ	5	0,9	0,3
О-2 КРУ-6кВ	Освещение релейного отсека КРУ-6кВ	5	0,9	0,3
М-1(28)	Прожекторная мачта М-1(28)	6,7	0,85	0,45
М-2	Прожекторная мачта М-2	3,4	0,85	0,45
М-29	Прожекторная мачта М-29	8	0,85	0,4
М-29А	Прожекторная мачта М-29А	8	0,85	0,4
ЩО-1	Щиток рабочего освещения КП	1,5	0,9	0,4
ЩО-1а	Щиток аварийного освещения КП	0,5	0,9	0,1
ЩПТ-1	Щит постоянного тока. Ввод 1	5,7	0,83	1
ЩПТ-2	Щит постоянного тока. Ввод 2	5,7	0,83	1
ПАСЧ-2	Пожарная аварийно-спасательная часть	40	0,85	0,8
901-03 В-1	Спецреагентное хозяйство. Ввод 1	120	0,85	0,5
901-03 В-2	Спецреагентное хозяйство. Ввод 2	130	0,85	0,5
901-10	Гаражи	62	0,9	0,6
ЭКО	Блок управления электрокалорифером	67,5	0,9	0,6
ЩС-3-6	Реагентное хозяйство. Электрощитовая ЩС-3-6	120	0,85	0,4
ЩС-2	Реагентное хозяйство. Электрощитовая ЩС-2	130	0,85	0,4

Расчет электрических нагрузок ЭП напряжением до 1 кВ производится для каждого узла питания (распределительного пункта, шкафа, сборки, распределительного шинпровода и т.п.), а также по цеху целом.

Для электродвигателей с повторно-кратковременным режимом работы их номинальная мощность не приводится к длительному режиму (ПВ = 100%).

Для многодвигательных приводов учитываются все одновременно работающие электродвигатели данного привода. Если в числе этих двигателей имеются одновременно включаемые (с идентичным режимом работы), то они учитываются в расчете как один ЭП номинальной мощностью, равной сумме номинальных мощностей одновременно работающих двигателей.

Расчетная активная нагрузка группы электроприемников ($n > 1$) определяется по выражению:

$$P_p = K_p \cdot \sum K_{ui} \cdot P_{ni}, \quad (6)$$

где K_p – коэффициент расчетной нагрузки.

Величина K_p принимается в зависимости от эффективного (приведенного) числа электроприемников группы n_{ε} и группового коэффициента использования. При расчете нагрузок распределительных шкафов, пунктов, шинопроводов и других устройств, питающихся с помощью проводов или кабелей, значения берутся из таблицы 1 [16], магистральных шинопроводов, цеховых трансформаторов, цеха или корпуса в целом – таблицы 2 [16].

Величина n_{ε} называется эффективным (приведенным) числом электроприемников, которые обуславливают ту же величину расчетной нагрузки, что и группа электроприемников различных по мощности и режиму, определяется по формуле:

$$n_{\varepsilon} = \frac{(\sum P_{ni})^2}{\sum n \cdot P_{ni}^2}. \quad (7)$$

Групповой коэффициент использования группы электроприемников или цеха, определяется по формуле:

$$K_u = \frac{\sum P_{ni} \cdot K_{ui}}{\sum P_{ni}}. \quad (8)$$

Расчетная силовая реактивная нагрузка группы электроприемников ($n > 1$) для питающих сетей до 1 кВ, выполненных проводами и кабелями определяется по выражениям:

$$Q_p = 1,1 \cdot \sum P_{ni} \cdot K_{ui} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i, \text{ при } n_{\varepsilon} \leq 10, \quad (9)$$

$$Q_p = \sum P_{ni} \cdot K_{ui} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i, \text{ при } n_{\varepsilon} > 10. \quad (10)$$

где $tg\varphi_i$ - средний коэффициент мощности i -ого электроприемника.

Расчетная силовая реактивная нагрузка для магистральных шинопроводов, на шинах цеховых ТП, а также для цеха, корпуса и предприятия в целом:

$$Q_p = K_p \cdot \sum P_{ni} \cdot K_{ui} \cdot tg\varphi_i. \quad (11)$$

Расчетный ток нагрузки:

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \text{ А.} \quad (12)$$

Результаты расчета нагрузок по форме Ф636-92 приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Определение расчетных нагрузок

Исходные данные							Расч. величины					Расч. мощность			I _p , А
по заданию технологов				по справ. данным			K _н ·P _н	K _н ·P _н ·tgφ	n·p _н ²	n _э	K _р	P _р , кВт	Q _р , кВАр	S _р , кВА	
Наименование ЭП	Кол- во ЭП, шт. n	Ном. мощность, кВт		k _н	к-т мощност и										
		одного p _н	общая P _н = =n·p _н		cosφ	tgφ									
I секция															
П-1	1	5,5	5,5	0,95	0,8	0,75	5,225	3,9	30,25	-	-	-	-	-	-
О-1 КРУ-6кВ	1	5	5	0,3	0,9	0,48	1,5	0,7	25	-	-	-	-	-	-
М-1(28)	1	6,7	6,7	0,45	0,85	0,62	3	1,9	44,89	-	-	-	-	-	-
М-2	1	3,4	3,4	0,45	0,85	0,62	1,53	0,9	11,56	-	-	-	-	-	-
ЩО-1	1	1,5	1,5	0,4	0,9	0,48	0,6	0,3	2,25	-	-	-	-	-	-
ЩПТ-1	1	5,7	5,7	1	0,83	0,67	5,7	3,8	32,5	-	-	-	-	-	-
ПАСЧ-2	1	40	40	0,8	0,85	0,62	32	19,8	1600	-	-	-	-	-	-
901-03 В-1	1	120	120	0,5	0,85	0,62	60	37,2	14400	-	-	-	-	-	-
ЭКО-SB	1	67,5	67,5	0,25	1	0	16,9	0,0	4556,2	-	-	-	-	-	-
ШС-3-6	1	120	120	0,4	0,85	0,62	48	29,7	14400	-	-	-	-	-	-
Итого по 1 секции	-	-	375,3	0,46	0,87	0,56	174,4	98,3	351021	4,0	1,23	214,6	108	240	365

Продолжение таблицы 4

Исходные данные						Расч. величины				Расч. мощность			I _p , А		
по заданию технологов				по справ. данным		K _н ·P _н	K _н ·P _н ·tgφ	n·p _н ²	n _э	K _p	P _p , кВт	Q _p , кВАр		S _p , кВА	
Наименование ЭП	Кол- во ЭП, шт. n	Ном. мощность, кВт		k _и	к-т мощност и										
		одного p _н	общая P _н = =n·p _н		cosφ	tgφ									
2 секция															
О-2 КРУ-6кВ	1	5	5	0,3	0,9	0,48	1,5	0,7	25	-	-	-	-	-	-
П-1а	1	5,5	5,5	0,95	0,8	0,75	5,225	3,9	30,25	-	-	-	-	-	-
М-29	1	8	8	0,4	0,85	0,62	3,2	2,0	64	-	-	-	-	-	-
М-29А	1	8	8	0,4	0,85	0,62	3,2	2,0	64	-	-	-	-	-	-
ЩО-1а	1	0,5	0,5	0,1	0,9	0,48	0,05	0,0	0,25	-	-	-	-	-	-
ЩПТ-2	1	5,7	5,7	1	0,83	0,67	5,7	3,8	32,5	-	-	-	-	-	-
ПАСЧ-2	1	40	40	0,8	0,85	0,62	32	19,8	1600	-	-	-	-	-	-
301-10	1	6,2	6,2	0,6	0,9	0,48	37,2	18,0	3844	-	-	-	-	-	-
901-03 В-2	1	130	130	0,5	0,85	0,62	65	40,3	16900	-	-	-	-	-	-
ЩС-2	1	130	130	0,4	0,85	0,62	52	32,2	16900	-	-	-	-	-	-
Итого по 2 секции	-	-	394,7	0,52	0,86	0,6	205	122,8	39460	3,9	1,17	240	135	275	418
РУ-0,4кВ															
П-1 (П-1а)	1	5,5	5,5	0,95	0,8	0,75	5,225	3,9	30,25	-	-	-	-	-	-
О-1 КРУ-6кВ	1	5	5	0,3	0,9	0,48	1,5	0,7	25	-	-	-	-	-	-
О-2 КРУ-6кВ	1	5	5	0,3	0,9	0,48	1,5	0,7	25	-	-	-	-	-	-
М-1(28)	1	6,7	6,7	0,45	0,85	0,62	3	1,9	44,9	-	-	-	-	-	-
М-2	1	3,4	3,4	0,45	0,85	0,62	1,53	0,9	11,56	-	-	-	-	-	-
М-29	1	8	8	0,4	0,85	0,62	3,2	2,0	64	-	-	-	-	-	-
М-29А	1	8	8	0,4	0,85	0,62	3,2	2,0	64	-	-	-	-	-	-
ЩО-1	1	1,5	1,5	0,4	0,9	0,48	0,6	0,3	2,25	-	-	-	-	-	-
Що-1а	1	0,5	0,5	0,1	0,9	0,48	0,05	0,0	0,25	-	-	-	-	-	-
ЩПТ-1	1	5,7	5,7	1	0,83	0,67	5,7	3,8	32,5	-	-	-	-	-	-
ЩПТ-2	1	5,7	5,7	1	0,83	0,67	5,7	3,8	32,5	-	-	-	-	-	-
ПАСЧ-2	1	40	40	0,8	0,85	0,62	32	19,8	1600	-	-	-	-	-	-
901-03 В-1	1	120	120	0,5	0,85	0,62	60	37,2	14400	-	-	-	-	-	-
901-03 В-2	1	130	130	0,5	0,85	0,62	65	40,3	16900	-	-	-	-	-	-
901-10	1	62	62	0,6	0,9	0,48	37,2	18,0	3844	-	-	-	-	-	-
ЭКО-СВ	1	67,5	67,5	0,25	1	0	16,9	0	4556	-	-	-	-	-	-
ЩС-3-6	1	120	120	0,4	0,85	0,62	48	29,7	14400	-	-	-	-	-	-
ЩС-2	1	130	130	0,4	0,85	0,62	52	32,2	16900	-	-	-	-	-	-
Итого по РУ- 0,4кВ	-	-	234,5	0,47	0,87	0,58	342,3	197,4	72932,4	7,2	1,1	376,5	114	393	598

Вывод по разделу 2: был произведен расчет электрических нагрузок в РУ-0,4 кВ. Расчет электрически нагрузок позволяет определить значения токов в линии и в последующем провести выбор распределительного и защитного оборудования.

3 Расчет распределительной сети 0,4 кВ. Выбор пусковой и защитной аппаратуры

Одним из важных критерием выбора электрооборудования и аппаратов является соответствие условию электродинамической стойкости. Так как в данной работе не будет производиться расчет токов КЗ на стороне 0,4 кВ и в исходных данных отсутствуют значения токов короткого замыкания, то при выборе кабелей, шинопроводов данным условием будем пренебрегать.

Номинальную мощность питающих трансформаторов определяют по условию [14, с. 147]:

$$S_{\text{ном.тр}} \geq \frac{S_p}{n \cdot \beta_3}, \quad (13)$$

где n – количество трансформаторов;

β_3 – коэффициент загрузки трансформаторов.

При установке на подстанции более одного трансформатора (n) расчетным является случай отказа одного из трансформаторов, когда оставшиеся в работе трансформаторы с учетом их аварийной перегрузки должны передать всю необходимую мощность:

$$S_{\text{ном.тр}} \geq \frac{S_p}{\beta_{ав}}, \quad (14)$$

где $\beta_{ав}$ – перегрузочная способность трансформатора. Для масляных трансформаторов - 1,4; для сухих - 1,2.

Номинальная мощность трансформаторов по условию (13):

$$S_{\text{ном.тр}} \geq \frac{393}{2 \cdot 0,5} = 393 \text{кВА}.$$

Номинальная мощность трансформаторов по условию (14):

$$S_{ном.тр} \geq \frac{393}{1,2} = 328 \text{ кВА.}$$

Примем к установке комплектную трансформаторную подстанцию КТПСП-2×400 фирмы АВВ, с технологией выдвигаемых модулей типа MNS. Подстанция однорядная с трансформаторами сухого исполнения типа TESAR.

Для выбора пусковой и защитной аппаратуры, а также кабельных изделий необходимо знать расчетные токи потребителей. Перечень электроприемников КП на стороне 0,4 кВ приведен в таблице 5.

Таблица 5 – Перечень электроприемников

№ по плану	Наименование приемника	P_n , кВт	I_n , А
П-1	Приточный вентилятор	5,5	10,9
П-1А	Приточный вентилятор (резерв)	5,5	10,9
О-1 КРУ-6кВ	Освещение релейного отсека КРУ-6кВ	5	8
О-2 КРУ-6кВ	Освещение релейного отсека КРУ-6кВ	5	8
М-1(28)	Прожекторная мачта М-1(28)	6,7	11,4
М-2	Прожекторная мачта М-2	3,4	5,8
М-29	Прожекторная мачта М-29	8	13,6
М-29А	Прожекторная мачта М-29А	8	13,6
ЩО-1	Щиток рабочего освещения КП	1,5	2,4
ЩО-1а	Щиток аварийного освещения КП	0,5	1
ЩПТ-1	Щит постоянного тока. Ввод 1	5,7	10
ЩПТ-2	Щит постоянного тока. Ввод 2	5,7	10
ПАСЧ-2	Пожарная аварийно-спасательная часть	40	70
901-03 В-1	Спецреагентное хозяйство. Ввод 1	120	204
901-03 В-2	Спецреагентное хозяйство. Ввод 2	130	220
901-10	Гаражи	62	100
ЭКО	Блок управления электрокалорифером	67,5	97,5
ЩС-3-6	Реагентное хозяйство. Электрощитовая ЩС-3-6	120	204
ЩС-2	Реагентное хозяйство. Электрощитовая ЩС-2	130	220

Автоматические выключатели выбираются по следующим техническим характеристикам [12, с. 27]:

– номинальное напряжение $U_{ном}$, В;

- номинальный ток выключателя $I_{ном а}$, А;
- номинальный ток расцепителя $I_{ном р}$, А;
- уставка срабатывания (ток срабатывания) расцепителя $I_{ср.р}$ при токе КЗ или кратность тока отсечки K_o при ($I_{ср.р} = K_o \cdot I_{ном р}$);
- предельная отключающая способность $I_{пр а}$, А;
- защитная характеристика.

Номинальные токи автоматического выключателя $I_{ном.а}$ и его расцепителя $I_{ном р}$ выбираются по следующим условиям:

$$I_{ном.а} \geq I_p, \quad (15)$$

$$I_{ном.р} \geq I_p, \quad (16)$$

где I_p – расчетный ток в защищаемой цепи, А.

Ток срабатывания (отсечки) электромагнитного или комбинированного расцепителя $I_{ср.р}$ проверяется по условию отстраивания от пикового тока линии $I_{пик}$:

$$I_{ср.р} \geq k \cdot I_{пик}, \quad (17)$$

где k – коэффициент, учитывающий погрешность расчета пикового тока и разброс защитных характеристик расцепителя автомата. Принимается равным 1,25.

$I_{пик}$ – пусковой или пиковый ток в защищаемой цепи, А

Ток срабатывания автоматического выключателя, как правило, устанавливается изготовителем в зависимости от $I_{ном р}$:

$$I_{ср.р} = K_{ТО} \cdot I_{ном.р}, \quad (18)$$

где $K_{ТО}$ – кратность тока отсечки, принимаемая по технической документации или справочной литературе.

Магнитные пускатели и контакторы должны выбираться по следующим основным техническим параметрам [12, с. 20]:

- назначению и области применения;
- роду тока, количеству и исполнению главных и вспомогательных контактов;
- номинальному напряжению и току главной цепи;
- категории применения;
- режиму работы;
- климатическому исполнению и категории размещения;
- механической и коммутационной износостойкости;
- номинальному напряжению и потребляемой мощности включающих катушек.

Пускатель выбирается по условию:

$$I_{ном.п} \geq I_p, \quad (19)$$

где $I_{ном.п}$ – номинальный ток пускателя, А.

Когда в пускатель встроены тепловые реле, то в этом случае номинальный рабочий ток пускателя $I_{ном.п}$ определяется максимальной установкой теплового элемента реле, примененного в пускателе. При выборе пускателя с тепловым реле необходимо соблюдать условие:

$$I_{ном.т} \geq I_{ном}, \quad (20)$$

$$I_{min} < I_p < I_{max}, \quad (21)$$

где $I_{ном.т}$ – номинальный ток теплового реле, А;

I_{min} и I_{max} – пределы регулирования тока несрабатывания теплового реле, А.

При выборе проводов и жил кабелей напряжением до 1 кВ необходимо учитывать их минимально допустимые сечения по механической прочности. Для силовых цепей, выполненных кабельным проводником и медными проводящими жилами минимальное сечение составляет 2,5 мм². Выбор проводникового материала производится по техническим условиям. Сечение проводника, марка которого выбирается в зависимости от требования среды, должно обеспечивать допустимый нагрев при прохождении расчетного тока и допустимую потерю напряжения при расчетном токе. Кроме того, сечение проводника должно быть согласовано с номинальным током плавкой вставки или токов расцепителя автомата, защищающий данный участок сети от перегрузки и токов КЗ.

По допустимому нагреву сечения кабелей выбираются по условию [19, с. 94]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_p / K_n, \quad (22)$$

где $I_{\text{доп}}$ – длительно допустимый ток кабеля, А;

K_n – поправочный коэффициент на фактические условия прокладки проводов и кабелей.

Для электрических сетей до 1кВ поправочный коэффициент K_n определяется как:

$$K_n = K_1 \cdot K_2, \quad (23)$$

где K_1, K_2 – коэффициенты, учитывающие фактическую температуру окружающей среды и количество совместно проложенных проводников.

Согласование сечения проводникового материала с током уставки защитного аппарата выполняется по условию:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{ном.з}}, \quad (24)$$

где $I_{ном.з}$ – номинальный ток устройства защиты (плавкой вставки предохранителя, теплового или комбинированного расцепителя автомата), А.

Произведем выбор аппаратов защиты и проводникового материала для приточного вентилятора П1.

По условиям (15) и (16). примем к установке автоматический выключатель S2X80 с номинальным током $I_{ном.а} = 80$ А и током расцепителя $I_{ном.р} = 16$ А.

В качестве пускового аппарата примем магнитный пускатель А30-30 с номинальным током $I_{ном.п} = 32$ А. Пускатель имеет тепловое реле ТА250DU14 с током уставки 10-14 А.

К прокладке примем кабель АВВГ 4×2,5 с длительно-допустимым током $I_{дол} = 19$ А. Произведем проверку данного кабеля по условиям (22) и (24):

$$19 \geq 10,9 / 1;$$

$$19 \geq 16 \geq 10,9 .$$

Данный кабель подходит к прокладке для данного электроприемника.

Выбор защитно-пусковой аппаратуры и кабелей для остальных приемников производится аналогично. Результаты выбора отображены в таблицах 6 и 7.

Таблица 6 – Выбор защитной и пусковой аппаратуры

№ на плане	I_n, A	Автоматический выключатель			Магнитный пускатель		Тепловое реле	
		Тип	$I_{ном.а}, A$	$I_{ном.р}, A$	Тип	$I_{ном.л}, A$	Тип	I_n, A
П-1	10,9	S2X80	80	16	A30-30	32	TA25DU14	25
П-1А	10,9	S2X80	80	16	A30-30	32	TA25DU14	25
О-1 КРУ-6кВ	8	S2X80	80	10	-	-	-	-
О-2 КРУ-6кВ	8	S2X80	80	10	-	-	-	-
М-1(28)	11,4	S2X80	80	25	A30-30	32	-	-
М-2	5,8							
М-29	13,6	S2X100	100	40	A40-30	37	-	-
М-29А	13,6							
ЩО-1	2,4	S2X80	80	6,3	-	-	-	-
ЩО-1а	1	S2X80	80	2,5	-	-	-	-
ЩПТ-1	10	S2X80	80	12,5	-	-	-	-
ЩПТ-2	10	S2X80	80	12,5	-	-	-	-
ПАСЧ-2	70	S2X100	100	100	-	-	-	-
901-03 В-1	204	S3H250	250	250	-	-	-	-
901-03 В-2	220	S3H250	250	250	-	-	-	-
901-10	100	S3H160	160	160	-	-	-	-
ЭКО	97,5	S4X160	160	160	A110-30	110	-	-
ЩС-3-6	204	S3H250	250	250	-	-	-	-
ЩС-2	220	S3H250	250	250	-	-	-	-

Таблица 7 – Выбор кабелей

№ на плане	I_p, A	K_1	K_2	$I_{ном.р}, A$	Марка и сечение кабеля	$I_{доп}, A$
П-1	10,9	1	1	16	АВВГ 4×2,5	19
П-1А	10,9	1	1	16	АВВГ 4×2,5	19
О-1 КРУ-6кВ	8	1	1	10	ВВГнг 5×2,5	25
О-2 КРУ-6кВ	8	1	1	10	ВВГнг 5×2,5	25
М-1(28)	11,4	1	1	25	АВБбШв 3×35+1×16	106
М-2	5,8	1	1		АВБбШв 4×16	62
М-29	13,6	1	1	40	АВБбШв 4×25	80
М-29А	13,6	1	1		АВБбШв 4×25	80
ЩО-1	2,4	1	1	6,3	ВВГ 5×6	42
ЩО-1а	1	1	1	2,5	ВВГ 5×6	42
ЩПТ-1	10	1	1	12,5	ВВГ 4×16	78
ЩПТ-2	10	1	1	12,5	ВВГ 4×16	78
ПАСЧ-2	70	1	1	100	АВБбШв 4×70	149
901-03 В-1	204	1	1	250	АВБбШв 3×150+1×70	346
901-03 В-2	220	1	1	250	АВБбШв 3×185+1×95	397
901-10	100	1	1	160	АВБбШв 3×50+1×25	126

Продолжение таблицы 7

№ на плане	I_p, A	K_1	K_2	$I_{ном.р}, A$	Марка и сечение кабеля	$I_{доп}, A$
ЭКО	97,5	1	1	160	АВВГ 3×50+1×25	126
ЩС-3-6	204	1	1	250	АВБбШв 3×185+1×95	397
ЩС-2	220	1	1	250	АВБбШв 3×185+1×95	397

Вывод по разделу 3: был произведен расчет распределительной сети 0,4 кВ и выбор аппаратов пуска и защиты. От правильного выбора защитных аппаратов зависит эффективность и долговечность работы силового оборудования. Аппараты защиты обеспечивают защиту электроустановок от аварийных режимов работы, защиту персонала от поражения электрическим током, пожарную безопасность внутренних электрических сетей.

4 Определение расчетных нагрузок 6 кВ

Основными потребителями коммутационного пункта являются трансформаторные подстанции, распределительные трансформаторные подстанции различных технологических установок. Также от данной подстанции питаются высоковольтные пожарные насосы. Характеристики потребителей КП приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Характеристики потребителей 6 кВ

Наименование потребителя	$S_{н}$, кВА	$\cos\varphi$	η
РТП-136 ввод 1	1200	0,85	-
РТП-136 ввод 2	1200	0,85	-
РТП-42 ввод 1	2200	0,85	-
РТП-42 ввод 1	2200	0,85	-
ТП-53 Т-1	800	0,85	-
ТП-53 Т-2	800	0,85	-
Пожарный насос ПН-1	800 кВт	0,87	0,92
Пожарный насос ПН-2	800 кВт	0,87	0,92
ТСН-1	400	0,85	-
ТСН-2	400	0,85	-
ТП-27 Т-1	320	0,85	-
ТП-27 Т-2	320	0,85	-
ТП-41а Т-1	1600	0,85	-
ТП-41а Т-2	1600	0,85	-
ТП-41б Т-1	1000	0,85	-
ТП-41б Т-2	1000	0,85	-
ТП-41в Т-1	1600	0,85	-
ТП-41в Т-2	1600	0,85	-
ТП-42а Т-1	1000	0,85	-
ТП-42а Т-2	1000	0,85	-
ТП-49 Т-1	320	0,85	-
ТП-49 Т-2	320	0,85	-

Расчет нагрузки производится согласно РТМ 36.18.32.4-92 «Указания по расчету электрических нагрузок» [16].

Расчетная нагрузка секции определяется по формулам:

$$P_p = K_o \cdot \sum_{i=1}^m (K_{ui} \cdot P_{ni}), \quad (25)$$

$$Q_p = K_o \cdot \sum_{i=1}^m (K_{ui} \cdot P_{ni} \cdot \operatorname{tg} \varphi), \quad (26)$$

где K_o – коэффициент одновременности максимумов нагрузок;

m – число присоединений на сборных шинах бкВ;

K_u – коэффициент использования i -ого присоединения;

P_{ni} – номинальная мощность i -ого присоединения, кВт.

Коэффициент одновременности K_o определяется в зависимости от числа подключений m и группового коэффициента использования силовой нагрузки:

$$K_u = \frac{\sum P_{ni} \cdot K_{ui}}{\sum P_{ni}}. \quad (27)$$

Коэффициент одновременности K_o определяется по таблице 3 [16].

Групповой коэффициент использования силовой нагрузки:

$$K_u = \frac{1020 \cdot 0,5 + 1870 \cdot 0,5 + 680 \cdot 0,45 + 800 \cdot 0,8 + 340 \cdot 0,45 +}{1020 + 1870 + 680 + 800 + 340 +} \\ \frac{+272 \cdot 0,45 + 1360 \cdot 0,45 + 850 \cdot 0,45 + 1360 \cdot 0,45 + 850 \cdot 0,45 + 272 \cdot 0,45}{+272 + 1360 + 850 + 1360 + 850 + 272} = 0,49.$$

При числе подключений $m = 11$ и коэффициенте использования $K_u = 0,49$ по таблице 3 [16] принимаем коэффициент одновременности $K_o = 0,85$.

Расчетная силовая нагрузка секции:

$$P_p = 0,85 \cdot (1020 \cdot 0,5 + 1870 \cdot 0,5 + 680 \cdot 0,45 + 800 \cdot 0,8 + 340 \cdot 0,45 + \\ + 272 + 1360 + 850 + 1360 + 850 + 272) = 4061 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 0,85 \cdot (1020 \cdot 0,5 \cdot 0,62 + 1870 \cdot 0,5 \cdot 0,62 + 680 \cdot 0,62 \cdot 0,45 + 800 \cdot 0,8 \cdot 0,57 + \\ + 340 \cdot 0,45 \cdot 0,62 + 272 \cdot 0,45 \cdot 0,62 + 1360 \cdot 0,45 \cdot 0,62 + 850 \cdot 0,45 \cdot 0,62 + \\ + 1360 \cdot 0,45 \cdot 0,62 + 850 \cdot 0,45 \cdot 0,62 + 272 \cdot 0,45 \cdot 0,62) = 2488 \text{ кВт}.$$

Расчет нагрузок на шинах 6 кВ оформлен в таблице 9.

Таблица 9 – Определение расчетных нагрузок

Исходные данные						Расч. величины						Расч. мощность			I _p , А
по заданию технологов				по справ. данным		K _и ·P _и	K _и ·P _и ·tgφ	n·p _и ²	n _э	K _p	P _p , кВт	Q _p , кВАр	S _p , кВА		
Наименование ЭП	Кол- во ЭП, шт. n	Ном. мощность, кВт		k _и	к-т мощности										
		однот. о p _и	общая P _и = =n·p _и		cosφ	tgφ									
1 секция															
РТП-136 ввод 1	-	-	1020	0,5	0,85	0,62	510	316,1	-	-	-	-	-	-	-
РТП-42 ввод 1	-	-	1870	0,5	0,85	0,62	935	579,5	-	-	-	-	-	-	-
ТП-53 Т-1	-	-	680	0,45	0,85	0,62	306	189,6	-	-	-	-	-	-	-
ПН-1	-	-	800	0,8	0,87	0,57	640	362,7	-	-	-	-	-	-	-
ТСН-1	-	-	340	0,45	0,85	0,62	153	94,8	-	-	-	-	-	-	-
ТП-27 Т-1	-	-	272	0,45	0,85	0,62	122,4	75,9	-	-	-	-	-	-	-
ТП-41а Т-1	-	-	1360	0,45	0,85	0,62	612	379,3	-	-	-	-	-	-	-
ТП-41б Т-1	-	-	850	0,45	0,85	0,62	382,5	237,1	-	-	-	-	-	-	-
ТП-41в Т-1	-	-	1360	0,45	0,85	0,62	612	379,3	-	-	-	-	-	-	-
ТП-42а Т-1	-	-	850	0,45	0,85	0,62	382,5	237,1	-	-	-	-	-	-	-
ТП-49 Т-1	-	-	272	0,45	0,85	0,62	122,4	75,9	-	-	-	-	-	-	-
Итого по 1 секции			9674	0,49	0,85	0,61	4778	2927	-	-	0,85	4061	2488	4763	436
2 секция															
РТП-136 ввод 2	-	-	1020	0,5	0,85	0,62	510	316,1	-	-	-	-	-	-	-
РТП-42 ввод 2	-	-	1870	0,5	0,85	0,62	935	579,5	-	-	-	-	-	-	-
ТП-53 Т-2	-	-	680	0,45	0,85	0,62	306	189,6	-	-	-	-	-	-	-
ПН-2	-	-	800	0,8	0,87	0,57	640	362,7	-	-	-	-	-	-	-
ТСН-2	-	-	340	0,45	0,85	0,62	153	94,8	-	-	-	-	-	-	-
ТП-27 Т-2	-	-	272	0,45	0,85	0,62	122,4	75,9	-	-	-	-	-	-	-
ТП-41а Т-2	-	-	1360	0,45	0,85	0,62	612	379,3	-	-	-	-	-	-	-
ТП-41б Т-2	-	-	850	0,45	0,85	0,62	382,5	237,1	-	-	-	-	-	-	-
ТП-41в Т-2	-	-	1360	0,45	0,85	0,62	612	379,3	-	-	-	-	-	-	-
ТП-42а Т-2	-	-	850	0,45	0,85	0,62	382,5	237,1	-	-	-	-	-	-	-
ТП-49 Т-2	-	-	272	0,45	0,85	0,62	122,4	75,9	-	-	-	-	-	-	-
Итого по 2 секции			9674	0,49	0,85	0,61	4778	2927	-	-	0,85	4061	2488	4763	436

Определим расчетные токи в питающих и распределительных линиях.

Данный расчет необходим для выбора сечения проводников, а также для выбора силового оборудования подстанции.

Расчетный ток трансформатора определяется по его номинальной мощности. В послеаварийном режиме, когда один трансформатор отключен, а другой несет всю нагрузку, расчетный ток в линии определяется по его мощности и перегрузочной способности. Допустимую перегрузку для

масляных составляет 1,4, для сухих - 1,2. Таким образом, для линий ТП расчётный ток и ток в послеаварийном режиме:

$$I_{p(ТП)} = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (28)$$

$$I_{pa(ТП)} = 1,2 \cdot \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (29)$$

Расчетный ток в линии к РТП определяется по его мощности. В послеаварийном режиме, когда один из вводов отключен расчетный ток в линии к РТП равен сумме мощностей двух секций (для двухсекционного РТП). Расчетный ток линии к РТП в нормальном и послеаварийном режиме:

$$I_{p(РТП)} = \frac{S_{РТП}}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (30)$$

$$I_{pa(РТП)} = 2 \cdot \frac{S_{РТП}}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (31)$$

Расчетный ток в линии к высоковольтному двигателю:

$$I_{p(дв)} = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta} \quad (32)$$

Определение расчетных токов в нормальном и послеаварийном режимах отходящих линий произведено в таблице 10.

Таблица 10 – Расчетные токи линий 6 кВ

Линия	Нагрузка S_n , кВА	I_p , А	I_{pa} , А
КП ввод 1	4763	436	872
КП ввод 2	4763	436	872

Продолжение таблицы 10

Линия	Нагрузка S_n , кВА	I_p , А	I_{pa} , А
РТП-136 ввод 1	1200	110	220
РТП-136 ввод 2	1200	110	220
РТП-42 ввод 1	2200	202	404
РТП-42 ввод 1	2200	202	404
ТП-53 Т-1	800	77,1	92,5
ТП-53 Т-2	800	77,1	92,5
Пожарный насос ПН-1	800 кВт	91	-
Пожарный насос ПН-2	800 кВт	91	-
ТСН-1	400	38,5	46,2
ТСН-2	400	38,5	46,2
ТП-27 Т-1	320	30,8	37
ТП-27 Т-2	320	30,8	37
ТП-41а Т-1	1600	154	185
ТП-41а Т-2	1600	154	185
ТП-41б Т-1	1000	96,4	116
ТП-41б Т-2	1000	96,4	116
ТП-41в Т-1	1600	154	185
ТП-41в Т-2	1600	154	185
ТП-42а Т-1	1000	96,4	116
ТП-42а Т-2	1000	96,4	116
ТП-49 Т-1	320	30,8	37
ТП-49 Т-2	320	30,8	37

Расчетный ток питающих линий КП в нормальном и послеаварийном режиме по выражениям (30) и (31) соответственно:

$$I_{p(PTII)} = \frac{4763}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 436 \text{ А};$$

$$I_{pa(PTII)} = \frac{2 \cdot 4763}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 872 \text{ А}.$$

Вывод по разделу 4: был произведен расчет электрических нагрузок потребителей 6 кВ. Расчет электрически нагрузок позволяет определить значения токов в линии и в последующем провести выбор распределительного и защитного оборудования.

5 Расчет токов короткого замыкания в сети 6 кВ

Расчет токов КЗ позволяет проверить проводники и аппараты на действие тока КЗ. Токи КЗ следует определять при КЗ в тех местах сети, в которых проводники и аппараты подвергаются наиболее тяжелому воздействию. Расчет токов КЗ в установках выше 1000В выполняется согласно ГОСТ 27514-87 [4] и РД 153-34.0-20.527-98 [15].

Расчет токов КЗ будем проводить для максимального и минимального режимов работы НТЭЦ. Токи КЗ максимального режима необходимы для выбора высоковольтного оборудования, кабельных линий. Токи КЗ минимального режима необходимы для точной отстройки уставок релейной защиты.

На рисунках 1 и 2 отображены расчетные схемы 1-ой и 2-ой секций соответственно.

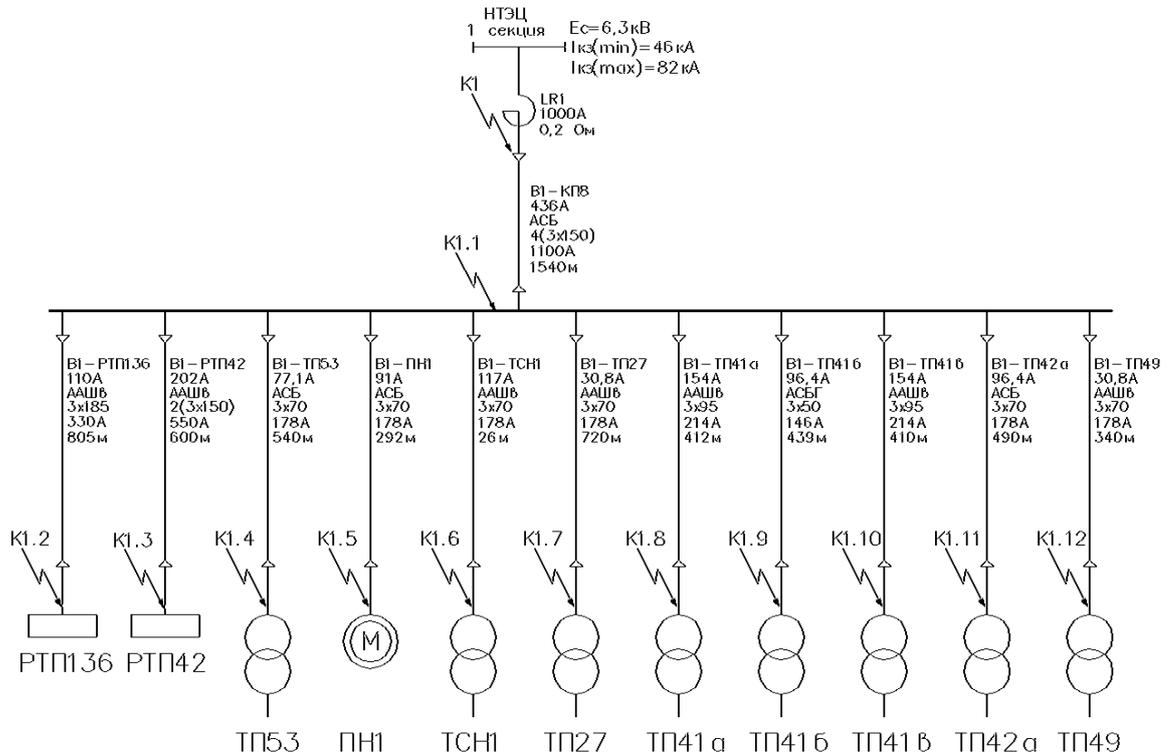


Рисунок 1 – Расчетная схема 1 секции КП-8

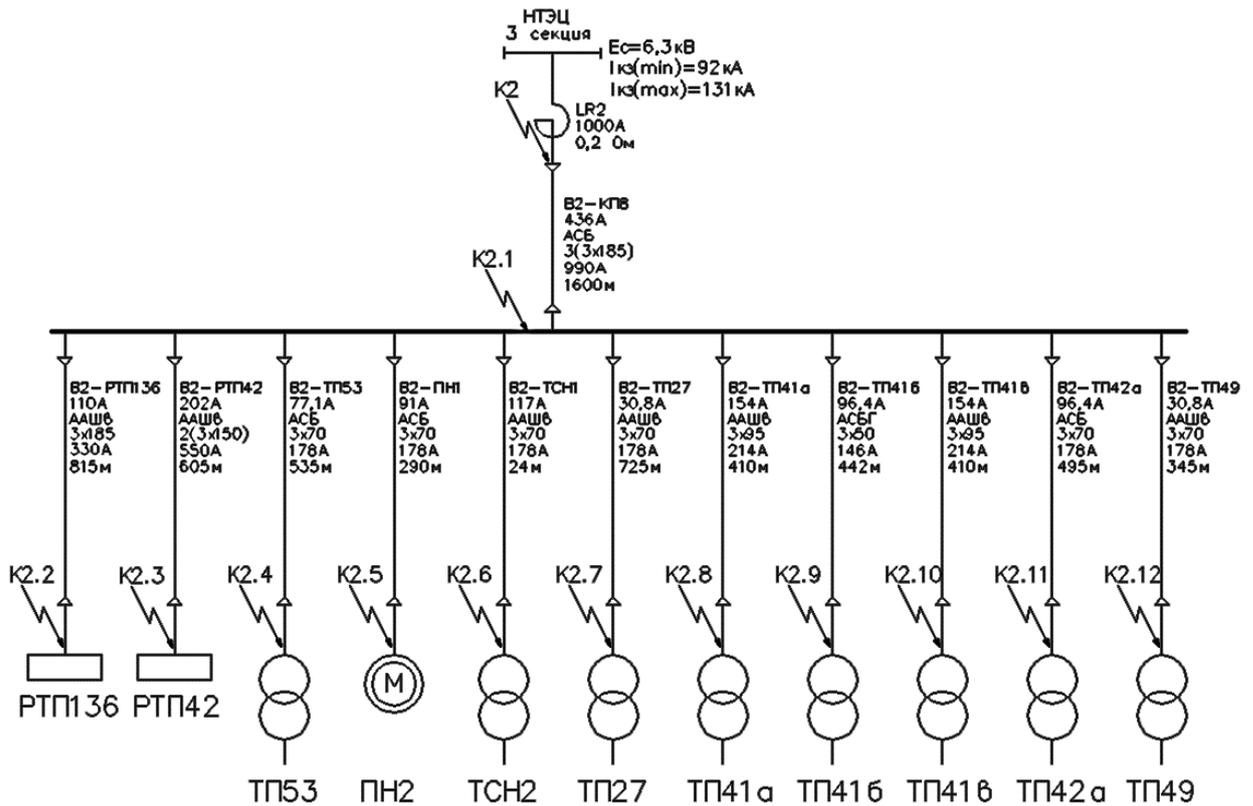


Рисунок 2 – Расчетная схема 2 секции КП-8

Далее необходимо составить схему замещения сети с расчетными параметрами элемента.

Сопротивление системы:

$$X_c = \frac{E}{\sqrt{3} \cdot I_{кз.с}}, \quad (33)$$

где E – ЭДС системы, для данной сети $E = 6,3$ кВ;

$I_{кз.с}$ – ток короткого замыкания системы, кА.

Активное и реактивное сопротивление кабельной линии:

$$R_k = R_{y0} \cdot L, \quad (34)$$

$$X_k = X_{y0} \cdot L, \quad (35)$$

где $R_{уд}$ и $X_{уд}$ – удельное активное и реактивное сопротивления соответственно, Ом/км;

L – длина кабельной линии, км.

Удельное сопротивление воздушных и кабельных линий определяется по справочным таблицам, каталогам производителей. Расчетные данные кабельных линий приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Расчет сопротивлений кабельных линий

Линия	Марка и сечение кабеля	$R_{уд}$, Ом/км	$X_{уд}$, Ом/км	Длина линии L , км	R , Ом	X , Ом	Z , Ом
V1-КП-8	АСБ 4(3×150)	0,208	0,079	1,540	0,08	0,03	0,086
V2-КП-8	АСБ 3(3×185)	0,169	0,078	1,6	0,09	0,042	0,099
V1-РТП136	ААШв 3×185	0,169	0,078	0,805	0,136	0,063	0,15
V2-РТП136	ААШв 3×185	0,169	0,078	0,815	0,138	0,064	0,152
V1-РТП42	ААШв 2(3×150)	0,208	0,079	0,6	0,062	0,024	0,067
V2-РТП42	ААШв 2(3×150)	0,208	0,079	0,605	0,063	0,024	0,067
V1-ТП53	АСБ 3×70	0,447	0,082	0,54	0,241	0,044	0,245
V2-ТП53	АСБ 3×70	0,447	0,082	0,535	0,239	0,044	0,243
V1-ПН1	АСБ 3×70	0,447	0,082	0,292	0,131	0,024	0,133
V2-ПН2	АСБ 3×70	0,447	0,082	0,29	0,13	0,024	0,132
V-ТСН1	ААШв 3×70	0,447	0,082	0,026	0,012	0,002	0,012
V-ТСН2	ААШв 3×70	0,447	0,082	0,024	0,011	0,002	0,011
V1-ТП27	ААШв 3×70	0,447	0,082	0,72	0,322	0,059	0,327
V2-ТП27	ААШв 3×70	0,447	0,082	0,725	0,324	0,059	0,329
V1-ТП41а	ААШв 3×95	0,329	0,081	0,412	0,136	0,033	0,14
V2-ТП41а	ААШв 3×95	0,329	0,081	0,41	0,135	0,033	0,139
V1-ТП41б	АСБГ 3×50	0,625	0,085	0,439	0,274	0,037	0,277
V2-ТП41б	АСБГ 3×50	0,625	0,085	0,442	0,276	0,038	0,279
V1-ТП41в	ААШв 3×95	0,329	0,081	0,412	0,136	0,033	0,14
V2-ТП41в	ААШв 3×95	0,329	0,081	0,41	0,135	0,033	0,139
V1-ТП42а	АСБ 3×70	0,447	0,082	0,49	0,219	0,040	0,223
V2-ТП42а	АСБ 3×70	0,447	0,082	0,495	0,221	0,041	0,225
V1-ТП49	ААШв 3×70	0,447	0,082	0,34	0,152	0,028	0,155
V2-ТП49	ААШв 3×70	0,447	0,082	0,345	0,154	0,028	0,157

Зная расчетные значения всех элементов сети, составим схему замещения 1-ой и 2 второй секций (рисунок 3), (рисунок 4).

Действующее значение периодической составляющей тока КЗ в начальный момент времени при трехфазном КЗ:

$$I_{n0}^{(3)} = \frac{E_{\text{экв}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\text{экв}}^2 + X_{\text{экв}}^2}}, \quad (36)$$

где $E_{\text{экв}}$ – эквивалентная ЭДС сети;

$R_{\text{экв}}$ и $X_{\text{экв}}$ – эквивалентные активное и реактивное сопротивления сети соответственно, Ом.

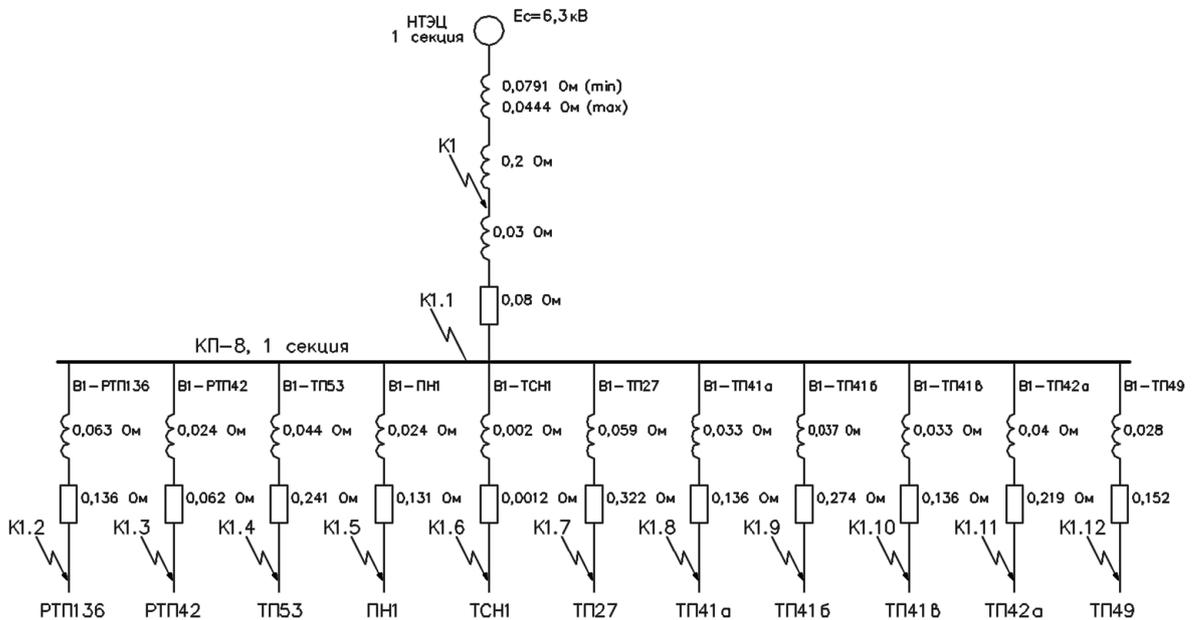


Рисунок 3 – Схема замещения 1 секции КП-8

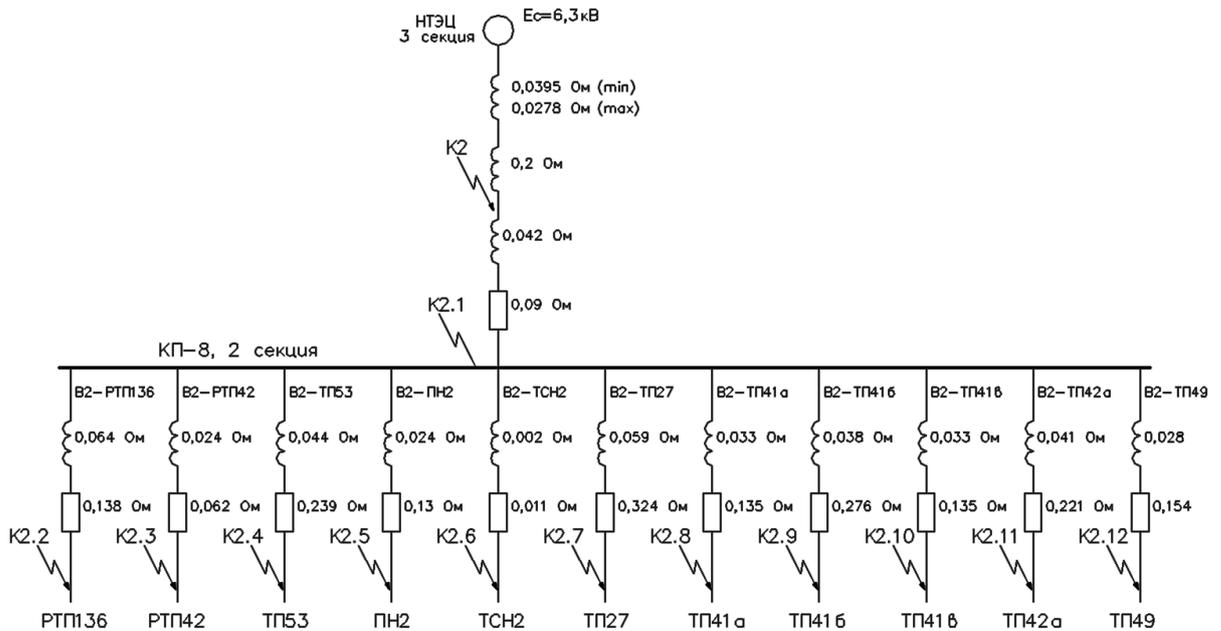


Рисунок 4 – Схема замещения 2 секции КП-8

Действующее значение периодической составляющей тока КЗ в начальный момент времени при двухфазном КЗ:

$$I_{n0}^{(2)} = I_{n0}^{(3)} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}. \quad (37)$$

Ударный ток короткого замыкания:

$$i_{y0} = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot K_{y0}, \quad (38)$$

где K_{y0} - ударный коэффициент [2, таблица 2.3].

Произведем расчет токов КЗ для точки К1.1 первой секции в максимальном режиме. Действующее значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ в начальный момент времени и ударный ток КЗ для точки К1.1:

$$I_{n0(K1.1)}^{(3)} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,08^2 + (0,0444 + 0,2 + 0,03)^2}} = 12,7 \text{ кА};$$

$$i_{y\partial(K1.1)}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 12,7 \cdot 1,9 = 34,1 \text{ кА}.$$

Действующее значение периодической составляющей тока двухфазного КЗ в начальный момент времени и ударный ток КЗ для точки К1.1:

$$I_{n0(K1.1)}^{(2)} = 12,7 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 11 \text{ кА};$$

$$i_{y\partial(K1.1)}^{(2)} = \sqrt{2} \cdot 11 \cdot 1,9 = 29,6 \text{ кА}.$$

Для остальных точек расчет производится аналогично. Результаты расчетов токов КЗ представлены в таблицах 12 и 13.

Таблица 12 – Расчет токов КЗ в максимальном режиме

Точка	$X_{\text{экв}}, \text{ Ом}$	$R_{\text{экв}}, \text{ Ом}$	$Z_{\text{экв}}, \text{ Ом}$	$I_{n0}^{(3)}, \text{ кА}$	$i_{y\partial}^{(3)}, \text{ кА}$	$I_{n0}^{(2)}, \text{ кА}$	$i_{y\partial}^{(2)}, \text{ кА}$
K1	0	0,244	0,244	14,9	40	12,9	34,6
K1.1	0,080	0,275	0,286	12,7	34,1	11,0	29,6
K1.2	0,216	0,338	0,401	9,1	24,4	7,9	21,1
K1.3	0,142	0,298	0,331	11,0	29,6	9,5	25,6
K1.4	0,321	0,319	0,453	8,0	21,6	7,0	18,7
K1.5	0,211	0,299	0,365	10,0	26,7	8,6	23,2
K1.6	0,092	0,277	0,292	12,5	33,5	10,8	29,0
K1.7	0,402	0,334	0,522	7,0	18,7	6,0	16,2
K1.8	0,216	0,308	0,376	9,7	26,0	8,4	22,5
K1.9	0,354	0,312	0,472	7,7	20,7	6,7	17,9
K1.10	0,216	0,308	0,376	9,7	26,0	8,4	22,5
K1.11	0,299	0,315	0,434	8,4	22,5	7,3	19,5
K1.12	0,232	0,303	0,381	9,5	25,6	8,3	22,2
K2	0,000	0,228	0,228	16,0	42,9	13,8	37,2
K2.1	0,090	0,269	0,284	12,8	34,4	11,1	29,8
K2.2	0,228	0,333	0,403	9,0	24,2	7,8	21
K2.3	0,153	0,293	0,331	11,0	29,5	9,5	25,6
K2.4	0,329	0,313	0,454	8,0	21,5	6,9	18,6
K2.5	0,220	0,293	0,366	9,9	26,7	8,6	23,1
K2.6	0,101	0,271	0,289	12,6	33,8	10,9	29,2
K2.7	0,414	0,329	0,529	6,9	18,5	6,0	16,0

Продолжение таблицы 12

Точка	$X_{экв}, \text{ Ом}$	$R_{экв}, \text{ Ом}$	$Z_{экв}, \text{ Ом}$	$I_{n0}^{(3)}, \text{ кА}$	$i_{уд}^{(3)}, \text{ кА}$	$I_{n0}^{(2)}, \text{ кА}$	$i_{уд}^{(2)}, \text{ кА}$
K2.8	0,225	0,303	0,377	9,6	25,9	8,4	22,4
K2.9	0,366	0,307	0,478	7,6	20,4	6,6	17,7
K2.10	0,225	0,303	0,377	9,6	25,9	8,4	22,4
K2.11	0,311	0,310	0,439	8,3	22,2	7,2	19,3
K2.12	0,244	0,298	0,385	9,4	25,4	8,2	22,0

Таблица 13 – Расчет токов КЗ в минимальном режиме

Точка	$R_{экв}, \text{ Ом}$	$X_{экв}, \text{ Ом}$	$Z_{экв}, \text{ Ом}$	$I_{n0}^{(3)}, \text{ кА}$	$i_{уд}^{(3)}, \text{ кА}$	$I_{n0}^{(2)}, \text{ кА}$	$i_{уд}^{(2)}, \text{ кА}$
K1	0	0,279	0,279	13	35	11,3	30,3
K1.1	0,080	0,309	0,320	11,4	30,6	9,9	26,5
K1.2	0,216	0,372	0,430	8,4	22,7	7,3	19,7
K1.3	0,142	0,333	0,362	10,0	27,0	8,7	23,4
K1.4	0,321	0,354	0,478	7,6	20,4	6,6	17,7
K1.5	0,211	0,333	0,394	9,2	24,8	8,0	21,5
K1.6	0,092	0,312	0,325	11,2	30,1	9,7	26,1
K1.7	0,402	0,369	0,545	6,7	17,9	5,8	15,5
K1.8	0,216	0,343	0,405	9,0	24,1	7,8	20,9
K1.9	0,354	0,347	0,496	7,3	19,7	6,4	17,1
K1.10	0,216	0,343	0,405	9,0	24,1	7,8	20,9
K1.11	0,299	0,350	0,460	7,9	21,2	6,8	18,4
K1.12	0,232	0,337	0,409	8,9	23,9	7,7	20,7
K2	0,000	0,240	0,240	15,2	40,8	13,2	35,3
K2.1	0,090	0,281	0,295	12,3	33,1	10,7	28,7
K2.2	0,228	0,345	0,413	8,8	23,7	7,6	20,5
K2.3	0,153	0,305	0,341	10,7	28,6	9,2	24,8
K2.4	0,329	0,325	0,463	7,9	21,1	6,8	18,3
K2.5	0,220	0,305	0,376	9,7	26,0	8,4	22,5
K2.6	0,101	0,283	0,301	12,1	32,5	10,5	28,2
K2.7	0,414	0,341	0,536	6,8	18,2	5,9	15,8
K2.8	0,225	0,314	0,387	9,4	25,3	8,1	21,9
K2.9	0,366	0,319	0,486	7,5	20,1	6,5	17,4
K2.10	0,225	0,314	0,387	9,4	25,3	8,1	21,9
K2.11	0,311	0,322	0,448	8,1	21,8	7,0	18,9
K2.12	0,244	0,309	0,394	9,2	24,8	8,0	21,5

Расчетные значения токов замыкания на землю участков сети 6кВ определяются как сумма емкостных токов отдельных присоединений.

Значение собственного емкостного тока присоединения определяется как:

$$I_c = I_{c.прис.} + I_{c.л.}, \quad (39)$$

где $I_{c.прис.}$ – собственный емкостной ток оборудования (двигателя бкв или трансформатора 6/0,4 кВ), А;

$I_{c.л.}$ – собственный емкостной ток кабельной линии, входящей в зону защиты, А.

Собственный емкостной ток присоединения:

$$I_{c.прис.} = \frac{3 \cdot \omega \cdot C_{прис.} \cdot U_{ном}}{\sqrt{3}} = \frac{6 \cdot \pi \cdot f \cdot C_{прис.} \cdot U_{ном}}{\sqrt{3}}, \quad (40)$$

где ω – круговая частота напряжения сети рад/с;

f – частота сети, Гц.;

$C_{прис.}$ – емкость фазы статора электродвигателя или емкость обмотки 6,3 кВ трансформатора относительно земли.

$U_{ном.}$ – номинальное напряжение сети, кВ.

Значения емкости фазы статора электродвигателя или емкости обмотки бкВ трансформатора относительно земли принимается по данным завода изготовителя.

Ориентировочно емкость электродвигателя можно рассчитать по формуле:

$$C_{двиг.} = \frac{0,0187 \cdot S_{ном.дв.} \cdot 10^{-6}}{1,2 \cdot \sqrt{U_{ном}} \cdot (1 + 0,08 \cdot U_{ном})}. \quad (41)$$

Собственный емкостной ток кабельной линии определяется как:

$$I_{c.л.} = I_{c.с.} \cdot l \cdot m, \quad (42)$$

где $I_{c.с.}$ – величина собственного емкостного тока на единицу длины кабельной линии 6,3кВ, А/км;

l – длина линии, км;

m – число кабелей в линии.

Расчетные значения собственных емкостных токов присоединений 6кВ и суммарные емкостные токи замыкания на землю в сети 6кВ подстанции КП-8 приведены в таблице 14

Таблица 14 – Расчет токов однофазного КЗ на землю в сети 6кВ

Линия	Кабель 6кВ			$P_{ном.дв}, кВт / S_{тр.ном}, кВА$	Расчетные данные		
	Марка и сечение	Длина линии $L, км$	$I_{с.дв}, А$		$I_{с.дв}, А$	$I_{с.л}, А$	$I_c, А$
В1-РТП136	ААШВ 3×185	0,805	1,28	1200	-	1,031	1,031
В2-РТП136	ААШВ 3×185	0,815	1,28	1200	-	1,043	1,0432
В1-РТП42	ААШВ 2(3×150)	0,6	1,19	2200	-	1,428	1,428
В2-РТП42	ААШВ 2(3×150)	0,605	1,19	2200	-	1,4399	1,43990
В1-ТП53	АСБ 3×70	0,54	0,73	800	-	0,3942	0,3942
В2-ТП53	АСБ 3×70	0,535	0,73	800	-	0,3906	0,3906
В1-ПН1	АСБ 3×70	0,292	0,73	800	0,0143	0,2132	0,2275
В2-ПН2	АСБ 3×70	0,29	0,73	800	0,0143	0,2117	0,226
В-ТСН1	ААШВ 3×70	0,026	0,73	400	-	0,0190	0,0190
В-ТСН2	ААШВ 3×70	0,024	0,73	400	-	0,0175	0,0175
В1-ТП27	ААШВ 3×70	0,72	0,73	320	-	0,5256	0,5256
В2-ТП27	ААШВ 3×70	0,725	0,73	320	-	0,5293	0,5293
В1-ТП41а	ААШВ 3×95	0,412	0,89	1600	-	0,3667	0,3667
В2-ТП41а	ААШВ 3×95	0,41	0,89	1600	-	0,3649	0,3649
В1-ТП41б	АСБГ 3×50	0,439	0,58	1000	-	0,2546	0,2546
В2-ТП41б	АСБГ 3×50	0,442	0,58	1000	-	0,2564	0,2564
В1-ТП41в	ААШВ 3×95	0,412	0,89	1600	-	0,3649	0,3649
В2-ТП41в	ААШВ 3×95	0,41	0,89	1600	-	0,3649	0,3649
В1-ТП42а	АСБ 3×70	0,49	0,73	1000	-	0,3577	0,3577
В2-ТП42а	АСБ 3×70	0,495	0,73	1000	-	0,3614	0,3614
В1-ТП49	ААШВ 3×70	0,34	0,73	320	-	0,2482	0,2482
В2-ТП49	ААШВ 3×70	0,345	0,73	320	-	0,2519	0,2519

Суммарный ток замыкания на землю секций КП-8 составляет:

- I секция – 5,2174 А;
- II секция – 5,246 А.

Вывод по разделу 5: был произведен расчет токов короткого замыкания в сети 6 кВ. Можно выделить несколько последствий короткого замыкания:

- системная авария, вызванная нарушением устойчивости системы;
- термическое повреждение электрооборудования, связанное с его недопустимым нагревом токами КЗ;
- механическое повреждение электрооборудования, вызываемое воздействием больших электромагнитных сил между токоведущими частями;
- ухудшение условий работы потребителей;
- наведение при несимметричных КЗ в соседних линиях связи и сигнализации ЭДС, опасных для обслуживающего персонала.

Расчет токов короткого замыкания необходим для выбора аппаратуры и проверки элементов электроустановок (шин, изоляторов, кабелей и т. д.) на электродинамическую и термическую устойчивость, а также уставок срабатывания защит и проверки их на чувствительность срабатывания.

6 Проверка кабелей на действие токов короткого замыкания

Минимальное сечение проводников по термической стойкости:

$$F_T = \frac{\sqrt{B_\kappa}}{C_T}, \quad (43)$$

где B_κ – тепловой импульс тока КЗ, A^2c ;

C_T – коэффициент, значение которого принимается в зависимости от начальной и конечной температуры при КЗ, материала проводника и изоляции, $A \cdot c^{0,5}/mm^2$.

Коэффициента C_T принимается для кабелей с алюминиевыми жилами $90 A \cdot c^{0,5}/mm^2$; с медными - $140 A \cdot c^{0,5}/mm^2$

Тепловой импульс (интеграл Джоуля) в A^2c :

$$B_\kappa = I_n^2 \cdot t_{омк}, \quad (44)$$

где I_n – действующее значение периодической составляющей тока КЗ, A ;

$t_{омк}$ – время действия тока КЗ, c .

Время действия тока КЗ определяется временем действия уставки релейной защиты для данного участка.

Термическая стойкость проводника обеспечивается если:

$$F \geq F_T. \quad (45)$$

Проверим проводник линии В1-КП на термическую стойкость.

Расчетные данные:

- участок В1-КП: $t_{омк} = 1 c$;
- проводник АСБ 4(3×150);
- параметры КЗ: $I_n = 14,9 kA$.

Тепловой импульс тока КЗ:

$$B_{\kappa} = (14900)^2 \cdot 1 = 221 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{c}.$$

Минимальное сечение по термической стойкости:

$$F_T = \frac{\sqrt{221 \cdot 10^6}}{90} = 165 \text{ мм}^2.$$

Проводник проходит по термической стойкости так как $600 > 165 \text{ мм}^2$.

Для остальных линий проверка производится аналогично. Проверка проводников произведен в таблице 15.

Таблица 15 – Проверка проводников на термическую стойкость

Обозначение	Проводник		Ток КЗ			$F_T, \text{ мм}^2$
	марка	сечение	$I_n, \text{ кА}$	$t_{омк}, \text{ с}$	$B_{\kappa} \cdot 10^6, \text{ A}^2 \cdot \text{c}$	
В1-КП	АСБ	4(3×150)	14,9	0,8	221	265
В2-КП	АСБ	3(3×185)	16,0	0,8	255	177
В1-РТП136	ААШВ	3×185	12,7	0,4	64,6	89,3
В2-РТП136	ААШВ	3×185	12,8	0,4	65,6	90
В1-РТП42	ААШВ	2(3×150)	12,7	0,4	64,6	89,3
В2-РТП42	ААШВ	2(3×150)	12,8	0,4	65,6	90
В1-ТП53	АСБ	3×70	12,7	0,05	8,1	31,6
В2-ТП53	АСБ	3×70	12,8	0,05	8,2	31,8
В1-ПН1	АСБ	3×70	12,7	0,05	8,1	31,6
В2-ПН2	АСБ	3×70	12,8	0,05	8,2	31,8
В-ТСН1	ААШВ	3×70	12,7	0,05	8,1	31,6
В-ТСН2	ААШВ	3×70	12,8	0,05	8,2	31,8
В1-ТП27	ААШВ	3×70	12,7	0,05	8,1	31,6
В2-ТП27	ААШВ	3×70	12,8	0,05	8,2	31,8
В1-ТП41а	ААШВ	3×95	12,7	0,05	8,1	31,6
В2-ТП41а	ААШВ	3×95	12,8	0,05	8,2	31,8
В1-ТП41б	АСБГ	3×50	12,7	0,05	8,1	31,6
В2-ТП41б	АСБГ	3×50	12,8	0,05	8,2	31,8

Продолжение таблицы 15

Обозначение	Проводник		Ток КЗ			$F_T, \text{мм}^2$
	марка	сечение	$I_n, \text{кА}$	$t_{отк}, \text{с}$	$B_k \cdot 10^6, \text{А}^2 \cdot \text{с}$	
В1-ТП41в	ААШв	3×95	12,7	0,05	8,1	31,6
В2-ТП41в	ААШв	3×95	12,8	0,05	8,2	31,8
В1-ТП42а	АСБ	3×70	12,7	0,05	8,1	31,6
В2-ТП42а	АСБ	3×70	12,8	0,05	8,2	31,8
В1-ТП49	ААШв	3×70	12,7	0,05	8,1	31,6
В2-ТП49	ААШв	3×70	12,8	0,05	8,2	31,8

Вывод по разделу 6: была произведена проверка кабельных линий 6 кВ на термическую стойкость токам КЗ. Существующие проводники проходят данную проверку. Электротермическая стойкость – способность электроустановок противостоять тепловому действию тока короткого замыкания в течении определенного времени при заданных условиях эксплуатации. Иными словами, данная проверка указывает, способны ли проводники выдерживать действующее значение тока короткого замыкания без нагрева токоведущих частей и повреждений самих проводников в течении времени работы аппаратов защиты.

7 Выбор электрооборудования напряжением 6 кВ

Комплектное распределительное устройство 6 кВ (КРУ) комплектуется шкафами для внутренней установки типа ZS1 фирмы ABB, с выдвижными элементами и одинарными системами сборных шин. Расположение шкафов двухрядное, с нижним шинным мостом. Количество шкафов 34 шт. Шкафы укомплектованы вакуумными выключателями VD4-12 с пружинным приводом. Управление, защита, измерение и контроль сетей выполнена на базе микропроцессорных терминалов защиты REM-543, REF541, 545. Для определения наличия рабочего напряжения 6 кВ в вводных шкафах устанавливается емкостной интегрированный индикатор KUVAG. В случае увеличения количества подключаемых электроприемников, в помещении КРУ-6кВ предусматривается места под резервные шкафы. С целью дальнейшего повышения надежности и гибкости внутривозовских сетей электроснабжения, на КП-8 предусматривается по два вводных шкафа на каждую секцию. Вводные ячейки снабжены ограничителями перенапряжения.

Выбор оборудования в общем случае выполняется по номинальному напряжению и току, динамической и термической стойкости току КЗ, отключающей способности и другим (таблицы 16-18) [1]. Выбор заключается в сравнении номинальных (паспортных, каталожных) данных с расчетными.

Таблица 16 – Условия выбора высоковольтного коммутационного оборудования

Вид	Условия	Ячейки КСО, КРУ	Выключатель	Разъединитель	Заземлитель	Предохранитель
По номинальному напряжению	$U_n \geq U_p$	+	+	+	+	+
По номинальному току	$I_n \geq I_p$	+	+	+	-	+

Продолжение таблицы 16

Вид	Условия	Ячейки КСО, КРУ	Выключатель	Разъединитель	Заземлитель	Предохранитель
По динамической стойкости	$i_{дин} \geq i_{уд}$	+	+	+	+	-
По термической стойкости	$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$	+	+	+	+	-
По отключающей способности	$I_{отк} \geq I_n$	-	+	-	-	+

Таблица 17 – Условия выбора измерительных трансформаторов тока

Вид	Условия
Класс точности обмоток	не ниже требуемых
По номинальному напряжению	$U_n \geq U_p$
По номинальному току в первичной цепи	$I_{1н} \geq I_p$
По номинальному току вторичной цепи	$I_{2н} \geq I_{пр}$
По динамической стойкости	$i_{дин} \geq i_{уд}$
По термической стойкости	$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$
По нагрузке во вторичной цепи	$S_{2н} \geq S_p$

Таблица 18 – Условия выбора измерительных трансформаторов напряжения

Вид	Условия
Класс точности обмоток	не ниже 0,5
По номинальному напряжению	$U_n \geq U_p$
По номинальному напряжению вторичной цепи	$U_{2н} \geq U_{пр}$
По нагрузке во вторичной цепи	$S_{2н} \geq S_p$

Допускается применение трансформаторов тока с завышенным коэффициентом трансформации (по условиям электродинамической и термической стойкости или защиты шин), если при максимальной нагрузке присоединения ток во вторичной обмотке трансформатора тока будет

составлять не менее 40% номинального тока счетчика, а при минимальной рабочей нагрузке - не менее 5% [10, п. 1.5.17).

Расчетная нагрузка трансформатора тока определяется по выражению:

$$S_p = S_{np} + I_{2н}^2 \cdot (r_{конт} + r_{пров}), \quad (46)$$

где $r_{конт}$ – суммарное сопротивление всех контактных соединений, можно принять 0,1 Ом.

Сопротивление проводников от трансформатора тока до приборов:

$$r_{пров} = \rho \cdot l' / F, \quad (47)$$

где ρ – удельное сопротивление проводника, можно принять 0,0175 Ом·мм²/м;

l' – расстояние от трансформаторов тока до приборов, м;

F – сечение проводника, мм².

Трансформаторы тока нулевой последовательности (ТТНП) выбираются по номинальному напряжению, а также по термической стойкости току КЗ во вторичной цепи.

В качестве КРУ принимаем ячейки типа UniGear ZS1-12 кВ [7]. Сравнение параметров представлено в таблице 19.

Таблица 19 – Выбор ячеек КРУ

Условия	Расчетные данные	UniGear ZS1-12 кВ	Единицы измерения
$U_n \geq U_p$	6,3	12	кВ
$I_n \geq I_p$	872	1250	А
$i_{дин} \geq i_{уд}$	33,1	63	кА
$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$	98,4	$25^2 \cdot 1 = 625$	$\cdot 10^6, A^2 \cdot c$

Согласно схемам ячеек, заземляющий разъединитель необходим для всех шкафов КРУ. Для заземления шин РУ используется заземлитель в шкафу измерительного трансформатора напряжения, поэтому отдельный шкаф с заземляющим разъединителем не требуется. Во всех ячейках устанавливается заземлитель одного типа ЕК6 фирмы АВВ. Выбор заземляющих ножей представлен в таблице 20.

Таблица 20 – Выбор заземляющего устройства

Условия	Расчетные данные	ЕК6	Единицы измерения
$U_n \geq U_p$	6,3	12	кВ
$i_{дин} \geq i_{уд}$	33,1	50	кА
$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$	98,4	$20^2 \cdot 1 = 400$	$\cdot 10^6, A^2 \cdot c$

В качестве коммутационного оборудования принимаем вакуумный выключатель VD4 фирмы АВВ. Для отходящих фидеров в качестве расчетных данных для выбора выключателя принимаем линию с наиболее тяжелыми условиями (В1-РТП42). Выбор высоковольтных выключателей представлен в таблице 21.

Таблица 21 – Выбор ячейки и коммутационного оборудования

Тип и место установки выключателя	Условия	Параметры выключателя	Расчетные данные	Единицы измерения
VD4/P-12.12.25 (вводной, секционный)	$U_n \geq U_p$	12	6,3	кВ
	$I_n \geq I_p$	1250	872	А
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	65	33,1	кА
	$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$	$25^2 \cdot 1 = 625$	98,4	$\cdot 10^6, A^2 \cdot c$
	$I_{отк} \geq I_n$	25	12,8	кА

Продолжение таблицы 21

Тип и место установки выключателя	Условия	Параметры выключателя	Расчетные данные	Единицы измерения
VD4/P-12.06.25 (линейный)	$U_n \geq U_p$	12	6,3	кВ
	$I_n \geq I_p$	630	404	А
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	65	33,1	кА
	$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$	$25^2 \cdot 1 = 625$	98,4	$\cdot 10^6, A^2 \cdot c$
	$I_{отк} \geq I_n$	25	12,8	кА

Произведем выбор измерительного трансформатора напряжения для секций РУ-6 кВ (таблица 22).

Таблица 22 – Выбор трансформатора напряжения

Условия	Расчетные данные	Тр-р напряжения ТJP 4.0	Единицы измерения
Класс точности	0,2; 0,5	0,5	-
$U_n \geq U_p$	6	6,3	кВ
$U_{2н} \geq U_{пр}$	100	100	В
$S_{2н} \geq S_p$	30	50	ВА

Полная мощность приборов, подключаемых к трансформаторам тока, для всех ячеек одинакова и составляет $S_{приб} = 4$ ВА. Расчетная нагрузка трансформаторов тока по выражению (46):

$$S_p = 4 + 5^2 \cdot (0,1 + 0,0175 \cdot 5 / 2,5) = 7,4 \text{ ВА.}$$

Выбор трансформаторов тока представлен в таблице 23.

Таблица 23 – Выбор трансформаторов тока

Тип и место установки выключателя	Условия	Параметры ТТ	Расчетные данные	Единицы измерения
ТРУ 43.13 (вводной, секционный)	$U_n \geq U_p$	6,3	6	кВ
	$I_{1н} \geq I_p$	1000	872	А
	$I_{2н} \geq I_{нр}$	5	5	А
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	40	33,1	кА
	$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$	$25^2 \cdot 1 = 625$	98,4	$\cdot 10^6, A^2 \cdot c$
	$S_{2н} \geq S_p$	10	7,4	ВА
ТРУ 40.13 (линейный)	$U_n \geq U_p$	6,3	6	кВ
	$I_{1н} \geq I_p$	50-600	30,8 - 404	А
	$I_{2н} \geq I_{нр}$	5	5	А
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	40	28,6	кА
	$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$	$25^2 \cdot 1 = 625$	65,6	$\cdot 10^6, A^2 \cdot c$
	$S_{2н} \geq S_p$	10	7,4	ВА

Для защиты от однофазных замыканий на землю на кабельных линиях устанавливаются трансформаторы тока нулевой последовательности типа КОЛМА 06D1, 10P10.

Вывод по разделу 7: был произведен выбор оборудования напряжением 6 кВ. Выбранное электрооборудование является актуальным и соответствует всем техническим параметрам и нормам.

8 Релейная защита и автоматика

8.1 Общие сведения

Защиты вводов питания, секционных выключателей и отходящих фидеров секций выполнены на базе цифровых комплексов защит. Выбор используемых защит и их уставок производился из условий защиты присоединения от возможных повреждений, обеспечения сохранения селективности и чувствительности работы защит.

Защиты рабочего и резервного вводов питания секций подстанции КП будут выполнены на базе цифрового комплекса защит REF-545.

В REF-545 должны быть задействованы следующие защиты:

- максимальная токовая защита рабочего ввода питания (NOC3High) – защита от междуфазных коротких замыканий на секции и резервирование защит отходящих фидеров при их отказе или отказе выключателей данных фидеров. Защита отстроена от самозапуска секции при АВР и чувствительна к минимальному двухфазному току КЗ в конце защищаемого участка.
- максимальная токовая защита резервного ввода питания (NOC3Inst) – защита от междуфазных коротких замыканий на секции и резервирование защит отходящих фидеров при их отказе или отказе выключателей данных фидеров. Защита отстроена от самозапуска секции при АВР и чувствительна к минимальному двухфазному току КЗ в конце защищаемого участка.

В данных защитах задействованы две группы уставок с различным временем срабатывания. При отсутствии сигнала о старте МТЗ отходящих фидеров данной секции или секционного выключателя активна группа уставок 1, при наличии сигнала о старте МТЗ отходящих фидеров данной секции или секционного выключателя активной становится группа уставок 2.

- защита от понижения напряжения (UV3High) – отключение рабочего ввода при исчезновении или снижении напряжения на секции для включения резервного источника питания при наличии готовности АВР секции. При запуске МТЗ данного ввода защита блокируется, защита также блокируется на 2с при включении данного выключателя;
- защита от повышения напряжения нулевой последовательности (ROV1High) – сигнализация о наличии в сети 6кВ замыкания на землю;
- защита от понижения частоты (Freq1St1) - отключение рабочего ввода при понижении частоты ниже уставки для включения резервного источника питания при наличии готовности АВР секции;
- защита от однофазных замыканий на землю (NEF1High) – сигнализация о наличии однофазного замыкания на землю;
- направленная защита от однофазных замыканий на землю (DEF2High) – сигнализация о наличии и месте (на секции или во внешней сети 6кВ) однофазного замыкания на землю.

Защиты секционного выключателя выполнены на базе цифрового комплекса защит REF-541.

В REF-541 должны быть задействованы следующие защиты:

- максимальная токовая защита (NOC3High) – защита от междуфазных коротких замыканий на секции и резервирование защит отходящих фидеров при их отказе или отказе выключателей данных фидеров. Защита отстроена от самозапуска секции при АВР и чувствительна к минимальному двухфазному току КЗ в конце защищаемого участка.

Данная защита имеет ускорение работы МТЗ при ручном включении выключателя.

Защиты асинхронных электродвигателей выполнены на базе цифрового комплекса защит REM-543. В REM-543 задействованы следующие защиты:

- максимальная токовая защита (NOC3High) – отключение выключателя электродвигателя при междуфазных КЗ на питающем кабеле или электродвигателе. Защита отстроена от пускового тока электродвигателя и чувствительна к минимальному двухфазному току КЗ на выводах двигателя;
- защита от замыканий на землю (NEF1High) – отключение выключателя электродвигателя при замыкании на землю в питающем кабеле или двигателе. Защита отстроена от собственного емкостного тока двигателя и кабеля при внешнем замыкании на землю;
- направленная защита от замыканий на землю (DEF2High) – отключение выключателя электродвигателя при замыкании на землю в питающем кабеле или двигателе. Защита блокируется при внешних замыканиях на землю;
- защита пускового режима (MotStart) – отключение выключателя при превышении допустимого времени пуска двигателя, запрет включения выключателя при превышении количества пусков за определенное время;
- защита минимального напряжения (UV3High) – отключение выключателя при исчезновении или снижении напряжения секции;
- защита от тепловой перегрузки (TOL3Dev) – отключение выключателя при превышении температуры двигателя предельно допустимой. Подъем температуры двигателя рассчитывается по тепловой модели.

Защиты фидеров питания подстанций РТП-42 и РТП-136 выполнены на базе цифрового комплекса защит REF-541.

В REF-541 задействованы следующие защиты:

- максимальная токовая защита (NOC3High) – защита от междуфазных коротких замыканий на кабеле питания, секции и при отказе защит отходящих присоединений подстанций РТП-42 и РТП-136. Защита

отстроена по времени от токовых защит отходящих фидеров подстанции РТП-42 и РТП-136;

- защита от однофазных замыканий на землю (NEF1High) – сигнализация о наличии однофазного замыкания на землю;
- направленная защита от однофазных замыканий на землю (DEF2High) – сигнализация о наличии однофазного замыкания на землю на данном присоединении.

Защиты трансформаторов 6/0,4кВ выполнены на базе цифрового комплекса защит REF-541.

В REF-541 задействованы следующие защиты:

- токовая отсечка (NOC3Inst) – защита от междуфазных коротких замыканий на кабеле питания или в обмотке трансформатора 6/0,4кВ. Защита отстроена коротких замыканий на стороне 0,4кВ трансформатора 6/0,4кВ;
- максимальная токовая защита (NOC3High) – защита от междуфазных коротких замыканий на стороне 0,4кВ трансформатора 6/0,4кВ. Защита отстроена по времени от токовых защит отходящих фидеров секций 0,4кВ;
- защита от однофазных замыканий на землю (NEF1High) – сигнализация о наличии однофазного замыкания на землю;
- направленная защита от однофазных замыканий на землю (DEF2High) – сигнализация о наличии однофазного замыкания на землю на данном присоединении.

8.2 Расчет уставок защит для двигателей

В качестве защиты электродвигателей от токов короткого замыкания применяется МТЗ (токовая отсечка). Уставка срабатывания токовой отсечки выбирается по условию пускового тока двигателя [18]:

$$I_{cp.отс} = K_{cx} \cdot K_{отс.} \cdot K_{анер.} \cdot K_{пуск} \cdot I_{ном.}, \quad (48)$$

где K_{cx} – коэффициент схемы, зависит от схемы соединения вторичных обмоток трансформатора тока;

$K_{отс.}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,4;

$K_{анер.}$ – коэффициент апериодической составляющей пускового тока двигателя, принимается равным 1,8;

$K_{пуск.}$ – кратность пускового тока двигателя;

$I_{ном.}$ – номинальный ток двигателя, А.

После выбора уставки должна быть проверена чувствительность отсечки по току [18]:

$$k_u = k_{сч1} \cdot I_{k(min)}^{(2)} / I_{сз}, \quad (49)$$

где $k_{сч1}$ – коэффициент снижения чувствительности, учитывает неметаллическое КЗ, принимается равным 0,87;

$I_{k(min)}^{(2)}$ – ток двухфазного короткого замыкания в мин. режиме, А.

Коэффициент чувствительности k_u . Должен быть не менее 2.

Защита от замыканий на землю реагирует на емкостный ток сети и выполняется с помощью одного токового реле, которое подключается к ТТ нулевой последовательности (ТТНП), установленному на кабеле, питающем двигатель. Уставка срабатывания защиты от замыкания на землю [18]:

$$I_{ср.зем} = k_{отс} \cdot k_{б.} \cdot I_c, \quad (50)$$

где $k_{отс.}$ – коэффициент отстройки, принимаемый равным 1,2-1,3;

I_c – собственный емкостной ток двигателя, А;

$k_{б.}$ – коэффициент, учитывающий бросок емкостного тока электродвигателя при внешних перемежающихся замыканиях на землю.

Для РЗ, действующей без выдержки времени, значение коэффициента k_b принимается равным 3 – 4. Для повышения чувствительности РЗ допускается принимать уменьшенное значение до 1,5 – 2. Защита при этом выполняется с выдержкой времени 1-2 с.

Перегрузка электродвигателей возникает при затянувшемся пуске, из-за перегрузки приводимых механизмов.

Перегрузки вызывают повышение температуры отдельных частей, и в первую очередь, обмоток. Повышение температуры ускоряет износ изоляции обмоток и снижает срок службы двигателя

Защита от тепловой перегрузки двигателя в терминале REM-543 создает тепловую модель двигателя исходя из измеренного среднеквадратичного тока и двум постоянными времени для измерения температуры. Основная формула, которая используется при расчете подъема температуры в градусах Цельсия выше температуры окружающей среды, представлена ниже:

$$\Delta\Theta = \left(p \cdot \left(\frac{I}{I_n} \right)^2 \cdot \Delta\Theta_n \right) \cdot (1 - e^{-t/TC1}) + \left((1 - p) \cdot \left(\frac{I}{I_n} \right)^2 \cdot \Delta\Theta_n \right) \cdot (1 - e^{-t/TC2}) \quad (51)$$

где $\Delta\theta$ - расчетный подъем температуры ($^{\circ}\text{C}$) в статоре или роторе, $^{\circ}\text{C}$;

p - весовой коэффициент для кратковременной постоянной;

I – измеренный максимальный среднеквадратичный фазный ток, А

I_n – номинальный ток защищаемого объекта, А;

$\Delta\theta_n$ - подъем температуры при номинальном токе под длительной нагрузкой, $^{\circ}\text{C}$;

$TC1$ - константа кратковременного нагрева/охлаждения;

$TC2$ - константа длительного нагрева/охлаждения.

Защита пускового режима определяется пусковым током $I_{пуск}$ двигателя и его временем пуска $t_{пуск}$. В терминале REM-543 данная защита в виде расчета теплового удара. Тепловой удар во время однократного запуска контролируется функцией контроля запуска MotStart, которая рассчитывает

$I^2 \cdot t$, то есть тепловой удар во время нормального запуска двигателя.

Уставки по защите от падения напряжения выбираются из рекомендаций ПУЭ, условиям эксплуатации электрооборудования, технологического режима установки.

Уставки защит электродвигателей ПН-1, ПН-2 представлены в таблицах 24 и 25.

Таблица 24 – Вводные данные ячеек электродвигателей ПН-1, ПН-2

Наименование параметра	Данные
Номер ячейки	№ 14,15
Терминал защиты	REM-543
Трансформаторы тока	$n_{mm}=150/5$ А
Кабельный трансформатор тока	$n_{mm0}=50/5$ А
$P_{ном.дв}$, кВт	800
$I_{ном}$, А	91
Коэффициент масштабирования	1,648

Таблица 25 - Уставки защит электродвигателей ПН-1, ПН-2

Защита	Уставки		Действие защиты
	Наименование параметра	Параметр	
Трёхфазная ненаправленная максимальная токовая защита NOC3High	Характеристика срабатывания	Независимая выдержка времени	Отключение
	Ток пуска	$15 \times I_n$ (1365 А)	
	Время срабатывания	0,05 с	
Ненаправленная защита от замыканий на землю NEF1High	Характеристика срабатывания	Независимая выдержка времени	Отключение
	Пусковой ток	$0,36 \times I_n$ (4 А)	
	Время срабатывания	0,05 с	
Направленная защита от замыканий на землю (резервный ввод) DEF2High	Режим срабатывания	Независимая выдержка времени	Отключение
	Критерий срабатывания	BasicAng & U_0	
	Направление срабатывания	Прямое	
	Базовый угол φ_b	-90	
	Характеристика срабатывания	$I_0 \sin(\varphi)$	
	Ток пуска	$27\% I_n$ (3 А)	
	Пусковое напряжение	$15\% U_n$	
	Время срабатывания	0,1 с	
Неустойчивое замыкание на землю	Выведено		

Продолжение таблицы 25

Защита	Уставки		Действие защиты
	Наименование параметра	Параметр	
Защита пускового режима MotStart	Режим работы	6×In (546 А)	Отключение
	Пусковой ток	10 с	
	Время пуска	20 с	
	Время запрета перезапуска	10 с/час	
	Скорость обратного счета	6×In (546 А)	
Трехфазная защита от тепловой перегрузки TOL3Dev	Пусковой ток	6×In (546 А)	Отключение
	Время пуска	10 с	
	Число пусков	3	
	Тип устройства	Motor IV	
	Температура отключения	100%	
	Предварительный аварийный сигнал	90%	
	Запрет повторного запуска	70%	
	Окружающая температура	20°C	
	Постоянная времени охлаждения τ	3	
	Постоянная времени нагрева τ	20	
	Трехфазная защита от понижения напряжения UV3High	Характеристика срабатывания	
Пусковое напряжение		0,6×Un	
Время срабатывания		5 с	

8.3 Расчет уставок защит трансформаторов 6/0,4 кВ

Токовая отсечка - простая быстродействующая РЗ от повреждений в трансформаторе. Зона действия отсечки ограничена, она не действует при витковых замыканиях и замыканиях на землю в обмотке, работающей на сеть с малым током замыкания на землю.

Уставка срабатывания токовой отсечки отстраивается от максимального тока КЗ при повреждении за трансформатором [5]:

$$I_{ср.отс} = K_{сх} \cdot K_{отс} \cdot I_{к(0,4кВ)}^{(3)}, \quad (52)$$

где $K_{сх}$ – коэффициент схемы, зависит от схемы соединения вторичных обмоток трансформатора тока;

$K_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,4;

$I_{k(0,4кВ)}^{(3)}$ – максимальный ток трехфазного короткого замыкания за трансформатором, А.

После выбора уставки должна быть проверена чувствительность отсечки по току:

$$k_u = k_{сч1} \cdot I_{k(\min)}^{(2)} / I_{сз}, \quad (53)$$

где $k_{сч1}$ – коэффициент снижения чувствительности, учитывает неметаллическое КЗ, принимается равным 0,87;

$I_{k(\min)}^{(2)}$ – минимальное значение тока двухфазного короткого замыкания в зоне защиты, А.

Максимальная токовая защита служит для отключения трансформатора от источника питания в случае короткого замыкания на стороне 0,4кВ.

Уставка срабатывания МТЗ отстраивается от максимального бросок тока трансформатора при его включении [5]:

$$I_{ср.мтз} = K_{сх} \cdot K_{отс.} \cdot I_{Т.мах}, \quad (54)$$

где $K_{сх}$ – коэффициент схемы, зависит от схемы соединения вторичных обмоток трансформатора тока;

$K_{отс.}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,4;

$I_{Т.мах}$ – максимальный ток броска трансформатора, А.

В общем случае максимальный бросок тока трансформатора можно определить, как:

$$I_{Т.мах} = K_{сзн.} \cdot I_{м.р}, \quad (55)$$

где $K_{сзн.}$ – коэффициент, учитывающий самозапуск двигателей на стороне 0,4кВ, принимается равным 3,3-3,6;

$I_{м.р.}$ – максимальный рабочий ток трансформатора, А.

Коэффициент чувствительности МТЗ:

$$k_{\text{ч}} = k_{\text{сч1}} \cdot I_{k(0,4\text{кВ})}^{(2)} / I_{\text{ср.мтз}}, \quad (56)$$

где $I_{k(0,4\text{кВ})}^{(2)}$ – минимальный ток двухфазного короткого замыкания за трансформатором, А.

Уставка срабатывания защиты от замыкания на землю рассчитывается по выражению (8.3).

Уставки защит трансформаторов 6/0,4 кВ представлены в таблицах 26-35.

Таблица 26 – Вводные данные ячеек трансформаторов 6/0,4 кВ ТП-41а Т1(Т2), ТП-41в Т1(Т2)

Наименование параметра	Данные
Номер ячейки	№ 20,21,24,25
Терминал защиты	REF-541
Трансформаторы тока	$n_{\text{mm}} = 200/5 \text{ А}$
Кабельный трансформатор тока	$n_{\text{mm0}} = 50/5 \text{ А}$
$P_{\text{ном.дв}}$, кВт	1600
$I_{\text{ном}}$, А	154

Таблица 27 - Уставки защит трансформаторов 6/0,4 кВ ТП-41а Т1(Т2), ТП-41в Т1(Т2)

Защита	Уставки		Действие защиты
	Наименование параметра	Параметр	
Трехфазная ненаправленная максимальная токовая защита NOC3Inst	Характеристика срабатывания	Независимая выдержка времени	Отключение
	Ток пуска	$15 \times I_n (3000 \text{ А})$	
	Время срабатывания	0,05 с	

Продолжение таблицы 27

Защита	Уставки		Действие защиты
	Наименование параметра	Параметр	
Трехфазная ненаправленная максимальная токовая защита NOC3High	Характеристика срабатывания	Независимая выдержка времени	Отключение
	Ток пуска	$5 \times I_n$ (1000 А)	
	Время срабатывания	0,6 с	
Ненаправленная защита от замыканий на землю NEF1High	Характеристика срабатывания	Независимая выдержка времени	Сигнализация
	Пусковой ток	$0,5 \times I_n$ (5 А)	
	Время срабатывания	2 с	
Направленная защита от замыканий на землю (резервный ввод) DEF2High	Режим срабатывания	Независимая выдержка времени	Сигнализация
	Критерий срабатывания	BasicAng & U_0	
	Направление срабатывания	Прямое	
	Базовый угол φ_b	-90	
	Характеристика срабатывания	$I_0 \sin(\varphi)$	
	Ток пуска	$10\% I_n$ (1 А)	
	Пусковое напряжение	$15\% U_n$	
	Время срабатывания	2 с	
	Неустойчивое замыкание на землю	Выведено	

Таблица 28 – Вводные данные ячеек трансформаторов 6/0,4кВ ТП-416 Т1(Т2), ТП-42а Т1(Т2)

Наименование параметра	Данные
Номер ячейки	№ 22,23,26,27
Терминал защиты	REF-541
Трансформаторы тока	$n_{mm} = 150/5$ А
Кабельный трансформатор тока	$n_{mm0} = 50/5$ А
$P_{ном.дв}$, кВт	1000
$I_{ном}$, А	96

Таблица 29 - Уставки защит трансформаторов 6/0,4кВ ТП-416 Т1(Т2), ТП-42а Т1(Т2)

Защита	Уставки		Действие защиты
	Наименование параметра	Параметр	
Трехфазная ненаправленная максимальная токовая защита NOC3Inst	Характеристика срабатывания	Независимая выдержка времени	Отключение
	Ток пуска	$14 \times I_n$ (2100 А)	
	Время срабатывания	0,05 с	

Продолжение таблицы 29

Защита	Уставки		Действие защиты
	Наименование параметра	Параметр	
Трехфазная ненаправленная максимальная токовая защита NOC3High	Характеристика срабатывания	Независимая выдержка времени	Отключение
	Ток пуска	$4,5 \times I_n$ (675 А)	
	Время срабатывания	0,6 с	
Ненаправленная защита от замыканий на землю NEF1High	Характеристика срабатывания	Независимая выдержка времени	Сигнализация
	Пусковой ток	$0,5 \times I_n$ (5 А)	
	Время срабатывания	2 с	
Направленная защита от замыканий на землю (резервный ввод) DEF2High	Режим срабатывания	Независимая выдержка времени	Сигнализация
	Критерий срабатывания	BasicAng & U_0	
	Направление срабатывания	Прямое	
	Базовый угол φ_b	-90	
	Характеристика срабатывания	$I_0 \sin(\varphi)$	
	Ток пуска	$10\% I_n$ (1 А)	
	Пусковое напряжение	$15\% U_n$	
Время срабатывания	2 с		

Таблица 30 – Вводные данные ячеек трансформаторов 6/0,4 кВ ТП-53 Т1(Т2)

Наименование параметра	Данные
Номер ячейки	№ 12,13
Терминал защиты	REF-541
Трансформаторы тока	$n_{mm} = 100/5$ А
Кабельный трансформатор тока	$n_{mm0} = 50/5$ А
$P_{ном.дв}$, кВт	800
$I_{ном}$, А	77

Таблица 31 - Уставки защит трансформаторов 6/0,4кВ ТП-53 Т1(Т2)

Защита	Уставки		Действие защиты
	Наименование параметра	Параметр	
Трехфазная ненаправленная максимальная токовая защита NOC3Inst	Характеристика срабатывания	Независимая выдержка времени	Отключение
	Ток пуска	$18 \times I_n$ (1800 А)	
	Время срабатывания	0,05 с	

Продолжение таблицы 31

Защита	Уставки		Действие защиты
	Наименование параметра	Параметр	
Трёхфазная ненаправленная максимальная токовая защита NOC3High	Характеристика срабатывания	Независимая выдержка времени	Отключение
	Ток пуска	$5 \times I_n$ (500 А)	
	Время срабатывания	0,6 с	
Направленная защита от замыканий на землю (резервный ввод) DEF2High	Режим срабатывания	Независимая выдержка времени	Сигнализация
	Критерий срабатывания	BasicAng & U_0	
	Направление срабатывания	Прямое	
	Базовый угол φ_b	-90	
	Характеристика срабатывания	$I_0 \sin(\varphi)$	
	Ток пуска	$10\% I_n$ (1 А)	
	Пусковое напряжение	$15\% U_n$	
	Время срабатывания	2 с	
Неустойчивое замыкание на землю	Выведено		
Ненаправленная защита от замыканий на землю NEF1High	Характеристика срабатывания	Независимая выдержка времени	Сигнализация
	Пусковой ток	$0,5 \times I_n$ (5 А)	
	Время срабатывания	2 с	

Таблица 32 – Вводные данные ячеек трансформаторов 6/0,4 кВ ТП-27 Т1(Т2), ТП-49 Т1(Т2)

Наименование параметра	Данные
Номер ячейки	№ 18,19,28,29
Терминал защиты	REF-541
Трансформаторы тока	$n_{mm} = 50/5$ А
Кабельный трансформатор тока	$n_{mm0} = 50/5$ А
$P_{ном.дв}$, кВт	320
$I_{ном}$, А	30,8

Таблица 33 – Уставки защит трансформаторов 6/0,4кВ ТП-27 Т1(Т2), ТП-49 Т1(Т2)

Защита	Уставки		Действие защиты
	Наименование параметра	Параметр	
Трехфазная ненаправленная максимальная токовая защита NOC3Inst	Характеристика срабатывания	Независимая выдержка времени	Отключение
	Ток пуска	$20 \times I_n$ (1000 А)	
	Время срабатывания	0,05 с	
Трехфазная ненаправленная максимальная токовая защита NOC3High	Характеристика срабатывания	Независимая выдержка времени	Отключение
	Ток пуска	$4 \times I_n$ (200 А)	
	Время срабатывания	0,6 с	
Ненаправленная защита от замыканий на землю NEF1High	Характеристика срабатывания	Независимая выдержка времени	Сигнализация
	Пусковой ток	$0,5 \times I_n$ (5 А)	
	Время срабатывания	2 с	
Направленная защита от замыканий на землю (резервный ввод) DEF2High	Режим срабатывания	Независимая выдержка времени	Сигнализация
	Критерий срабатывания	BasicAng & U_0	
	Направление срабатывания	Прямое	
	Базовый угол φ_b	-90	
	Характеристика срабатывания	$I_0 \sin(\varphi)$	
	Ток пуска	$10\% I_n$ (1 А)	
	Пусковое напряжение	$15\% U_n$	
	Время срабатывания	2 с	
	Неустойчивое замыкание на землю	Выведено	

Таблица 34 – Вводные данные ячеек трансформаторов 6/0,4кВ ТСН-1, ТСН-2

Наименование параметра	Данные
Номер ячейки	№ 16, 17
Терминал защиты	REF-541
Трансформаторы тока	$n_{mm} = 50/5$ А
Кабельный трансформатор тока	$n_{mm0} = 50/5$ А
$P_{ном.дв}$, кВт	400
$I_{ном}$, А	38,5

Таблица 35 – Уставки защит трансформаторов 6/0,4кВ ТСН-1, ТСН-2

Защита	Уставки		Действие защиты
	Наименование параметра	Параметр	
Трехфазная ненаправленная максимальная токовая защита NOC3Inst	Характеристика срабатывания	Независимая выдержка времени	Отключение
	Ток пуска	$28 \times I_n$ (1400 А)	
	Время срабатывания	0,05 с	
Трехфазная ненаправленная максимальная токовая защита NOC3High	Характеристика срабатывания	Независимая выдержка времени	Отключение
	Ток пуска	$5 \times I_n$ (250 А)	
	Время срабатывания	0,6 с	
Ненаправленная защита от замыканий на землю NEF1High	Характеристика срабатывания	Независимая выдержка времени	Сигнализация
	Пусковой ток	$0,5 \times I_n$ (5 А)	
	Время срабатывания	2 с	
Направленная защита от замыканий на землю (резервный ввод) DEF2High	Режим срабатывания	Независимая выдержка времени	Сигнализация
	Критерий срабатывания	BasicAng & U_0	
	Направление срабатывания	Прямое	
	Базовый угол φ_b	-90	
	Характеристика срабатывания	$I_0 \sin(\varphi)$	
	Ток пуска	10% I_n (1 А)	
	Пусковое напряжение	15% U_n	
	Время срабатывания	2 с	
Неустойчивое замыкание на землю	Выведено		

8.4 Расчет уставок защит фидеров питания РТП

Уставка срабатывания защиты от замыкания на землю рассчитывается по выражению (57).

Уставки срабатывания МТЗ отстраиваются по селективности от уставок соответствующей защиты на вводе РТП. Уставка по току берется с 5% запасом от уставки на вводе, уставка по току принимается на одну ступень выше (плюс 0,2 с)

Уставки защит фидеров питания РТП приведены в таблицах 36 и 37.

Таблица 36 – Вводные данные ячеек фидеров питания РТП-42 ввод 1(2), РТП-136 ввод 1(2)

Наименование параметра	Данные
Номер ячейки	№ 8,9,10,11
Терминал защиты	REF-541
Трансформаторы тока	$n_{mm} = 600/5 \text{ A}$
Кабельный трансформатор тока	$n_{mm0} = 50/5 \text{ A}$
$P_{ном.дв}$, кВт	400

Таблица 37 - Уставки защит фидеров питания РТП-42 ввод 1(2), РТП-136 ввод 1(2)

Защита	Уставки		Действие защиты
	Наименование параметра	Параметр	
Трёхфазная ненаправленная максимальная токовая защита NOC3Inst	Характеристика срабатывания	Независимая выдержка времени	Отключение
	Ток пуска	$3,3 \times I_n$ (1980 A)	
	Время срабатывания	0,4 с	
Ненаправленная защита от замыканий на землю NEF1High	Характеристика срабатывания	Независимая выдержка времени	Сигнализация
	Пусковой ток	$0,5 \times I_n$ (5 A)	
	Время срабатывания	2 с	
Направленная защита от замыканий на землю (резервный ввод) DEF2High	Режим срабатывания	Независимая выдержка времени	Сигнализация
	Критерий срабатывания	BasicAng & U_0	
	Направление срабатывания	Прямое	
	Базовый угол ϕ_b	-90	
	Характеристика срабатывания	$I_0 \sin(\phi)$	
	Ток пуска	10% I_n (1 A)	
	Пусковое напряжение	15% U_n	
	Время срабатывания	2 с	
	Неустойчивое замыкание на землю	Выведено	

8.5 Расчет уставок защит вводов питания и секционного выключателя

Максимальная токовая защита служит для отключения секции в случае короткого замыкания на шинах секции либо в отсеках выключателей

отходящих фидеров.

Уставка срабатывания МТЗ отстраивается максимальной уставки по МТЗ или ТО отходящих фидеров [5]:

$$I_{cp.mtz} = K_{cx} \cdot K_{отс.} \cdot I_{cp.max}, \quad (57)$$

где K_{cx} – коэффициент схемы, зависит от схемы соединения вторичных обмоток трансформатора тока;

$K_{отс.}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,4;

$I_{cp.max}$ – максимальный ток уставки срабатывания отходящего фидера на секции, А.

Коэффициент чувствительности МТЗ:

$$k_{\chi} = k_{сч1} \cdot I_{k(0,4кВ)}^{(2)} / I_{cp.mtz}, \quad (58)$$

где $I_{k(min)}^{(2)}$ – минимальный ток двухфазного короткого замыкания на секции, А.

Уставка по МТЗ для секционного выключателя принимается равной уставке на вводах питания

Защита от понижения напряжения и частоты отстраивается по селективности от вышестоящих расщедустройств.

Уставки защит вводов питания и секционного выключателя представлены в таблицах 38 – 41 соответственно.

Таблица 38 – Вводные данные ячеек вводов питания

Наименование параметра	Данные
Номер ячейки	№ 2,3,6,7
Терминал защиты	REF - 545
Трансформаторы тока	$n_{mm} = 1000/5$ А
Кабельный трансформатор тока	$n_{mm0} = 50/5$ А

Таблица 39 – Уставки защит вводов питания

Защита	Уставки		Действие защиты
	Наименование параметра	Параметр	
Трехфазная ненаправленная максимальная токовая защита (Защита рабочих вводов) NOC3Inst	Характеристика срабатывания	Независимая выдержка времени	Отключение
	Ток пуска	$3,5 \times I_n$ (3500 A)	
	Время срабатывания (группа уставок 1)	0,6 с	
	Время срабатывания (группа уставок 2)	0,8 с	
Трехфазная ненаправленная максимальная токовая защита (Защита резервных вводов) NOC3High	Характеристика срабатывания	Независимая выдержка времени	Отключение
	Ток пуска	$3,5 \times I_n$ (3500 A)	
	Время срабатывания (группа уставок 1)	0,6 с	
	Время срабатывания (группа уставок 2)	0,8 с	
Трехфазная защита от понижения напряжения UV3High	Характеристика срабатывания	Независимая выдержка времени	Отключение (при готовности АВР)
	Пусковое напряжение	$0,6 \times U_n$ (3,78 кВ)	
	Время срабатывания	0,3с	
Защита от повышения или понижения частоты Freq1St1	Режим срабатывания	$f </f> 1$ timer	Отключение (при готовности АВР)
	Предел напряжения	$0,3 \times U_n$ (1,89 кВ)	
	Частота пуска	48 Гц	
	Время срабатывания 1	0,2с	
	Пуск df/dt	10 Гц/с	
	Время срабатывания 2	20с	
Ненаправленная защита от замыканий на землю NEF1High	Характеристика срабатывания	Независимая выдержка времени	Сигнализация
	Пусковой ток	$0,5 \times I_n$ (7 A)	
	Время срабатывания	2 с	
Направленная защита от замыканий на землю (резервный ввод) DEF2High	Режим срабатывания	Независимая выдержка времени	Сигнализация
	Критерий срабатывания	BasicAng & U_0	
	Направление срабатывания	Прямое	
	Базовый угол ϕ_b	-90	
	Характеристика срабатывания	$I_0 \sin(\phi)$	
	Ток пуска	$10\% I_n$ (1,4 A)	
	Пусковое напряжение	$15\% U_n$	
	Время срабатывания	2 с	
Неустойчивое замыкание на землю	Выведено		

Продолжение таблицы 39

Защита	Уставки		Действие защиты
	Наименование параметра	Параметр	
Защита от повышения напряжения нулевой последовательности ROV1High	Характеристика срабатывания	Независимая выдержка времени	Сигнализация
	Пусковое напряжение	$0,15 \times U_n$	
	Время срабатывания	2с	

Таблица 40 – Вводные данные ячейки секционного выключателя

Наименование параметра	Данные
Номер ячейки	№ 1
Терминал защиты	REF-541
Трансформаторы тока	$n_{mm} = 1000/5 \text{ A}$

Таблица 41 - Уставки защит секционного выключателя

Защита	Уставки		Действие защиты
	Наименование параметра	Параметр	
Трехфазная ненаправленная максимальная токовая защита NOC3Inst	Характеристика срабатывания	Независимая выдержка времени	Отключение
	Ток пуска	$3,5 \times I_n (3500 \text{ A})$	
	Время срабатывания (группа уставок 1)	0,6 с	
	Время срабатывания (группа уставок 2)	0,05 с	

Вывод по разделу 8: был произведен расчет уставок защит для питающих и отходящих линий РУ-6 кВ. Правильный выбор (расчет) параметров (уставок) релейной защиты обеспечивает стабильную и безошибочную работу системы.

9 Автоматизированная система управления электроснабжением предприятия

В дипломном проекте разработана и представлена схема топологии подключения оборудования РУ-6 кВ КП-8 к системе АСУ-ЭП MicroSCADA.

Система MicroSCADA представляет собой открытую программно-аппаратную среду для построения автоматизированных систем контроля и управления как локальными, так и распределенным объектами электроэнергетического назначения.

MicroSCADA не только реализует полный набор стандартных функций системы SCADA (диспетчерского управления и сбора данных), но и предоставляет ряд функций, специально разработанных для решения задач построения АСУ ЭП: чтение и запись уставок, считывание осциллограмм, диагностику оборудования и т.д.

Основные функции MicroSCADA:

- контроль состояния и дистанционное управление объектами автоматизации в режиме реального времени;
- формирование предупредительных и аварийных сигналов и сообщений;
- формирование архивов событий и параметров и их визуализация на экране в табличной и графической форме (тренды, отчеты) по запросу оператора;
- протоколирование событий и действий оператора;
- разграничение прав доступа пользователей к функциям и данным;
- локализация мест повреждений;
- динамическое представление режимов работы энергообъекта;
- автоматическое и полуавтоматическое выполнение заранее разработанных последовательностей переключений с контролем правильности операций;

- реализация механизма блокировки от ошибочных действий при управлении устройствами;
- автоматическая самодиагностика состояния оборудования ПТК;
- оперативное ведение списка блокировок по управлению, сигнализации, сообщениям;
- идентификация аварийных сообщений и сигналов в зависимости от их важности;
- оперативная блокировка/разблокировка сигналов и управляющих команд по группам и подгруппам устройств.

Источником технологической информации, обрабатываемой системой, являются измерительные трансформаторы тока и напряжения, блок-контакты положения коммутационных аппаратов, встроенные в силовое оборудование датчики диагностики, выходные реле терминалов РЗА, а также измерительные преобразователи активной и реактивной мощности.

Первичная обработка информации выполняется цифровыми устройствами релейной защиты и автоматики. Нормирование аналоговых сигналов производится АЦП этих устройств в процессе линейного преобразования входных величин. Функция фильтрации «дребезга» дискретных сигналов реализуется на уровне программного обеспечения терминалов защиты и управления путем задания соответствующих уставок, которые определяют настройки времени фиксации достоверного изменения сигналов.

Гальваническое разделение входных и внутренних цепей устройств сбора информации (терминалов РЗА) достигается за счет применения оптронных развязок.

Функция контроля отклонения технологических параметров, характеризующих режимы работы основного оборудования, от предельно допустимых значений, выполняет контроль вхождения значения в предупредительные и аварийные зоны по верхней и нижней границам диапазона для каждого аналогового сигнала. Аварийные и предупредительные

значения задаются диспетчерской службой ОАО «Нафтан» и могут изменяться оперативным персоналом в процессе эксплуатации системы.

Визуализация информации о ходе технологического процесса и состоянии оборудования осуществляется на экранах автоматизированных рабочих мест, расположенных в помещениях оперативных служб завода. Вывод информации осуществляется посредством активных мнемосхем, соответствующих первичным однолинейным схемам, и отображающих текущие технологические параметры процесса, положение коммутационных аппаратов, списки тревог и событий, графики изменения аналоговых величин, отчеты по запрошенным данным, а также параметры и уставки срабатывания устройств релейной защиты и автоматики.

Актуализация информации в базе данных сигналов системного сервера и на экранах рабочих станций выполняется спорадически и инициируется событиями, происходящими в первичном процессе.

Взаимодействие оператора с системой реализуется через графический интерфейс пользователя. Интерфейс строится с использованием стандартных графических компонентов среды Windows.

Учет наложенных переносных заземлений выполняется путем формирования в базе данных процесса массива логических сигналов, описывающих наложенные заземления. Ввод соответствующих данных осуществляется оператором вручную с консоли автоматизированного рабочего места. Информация о наложенных заземлениях записывается также в память терминалов контроля и управления задействованных присоединений и учитывается программным обеспечением при расчете алгоритма оперативной блокировки.

Справочно-информационная поддержка персонала реализуется посредством всплывающих окон для отображения контекстно-зависимой помощи. Данная подсистема предназначена для выдачи оперативных указаний оператору системы, а также для реализации безопасных и допустимых управляющих воздействий, выбранных из списка разрешенных операций.

Автоматизированный технический учет электроэнергии производится при помощи функции отчета по измерениям. Запись значений в архивную базу данных и расчет баланса выполняется на границе астрономического часа, выборка данных осуществляется с цикличностью в 3 минуты. Рассчитанные и сохраненные данные могут представляться в графической и табличной форме, а также экспортироваться в другие приложения (например, Microsoft Office Excel). Глубина архива составляет от 1 до 5 лет и может регулироваться пользователем. Суточные ведомости составляются автоматически и могут выводиться на печать либо сохраняться на резервные носители.

В состав схемы входят следующие устройства:

- цифровой терминал защита и управления REF 541/5;
- адаптер связи SPA-ZC 400EL, который обеспечивает связь Ethernet для устройств защиты и управления REF 541/5 по протоколу МЭК 61850;
- промышленные коммутаторы RSG2100, обеспечивающий подключение нескольких терминалов защита к одной сеть;
- устройство автоматизации подстанции COM600, которое включает в себя все функции шлюза связи, автоматической обработки данных и интерфейса пользователя. Для связи между подстанционными IED и верхним уровнем диспетчерского управления используется общая информационная модель МЭК61850;
- медиаконвертеры RMC40-НІ-МJMJ, используемые для преобразования и передачи сигналов на верхний уровень;
- сервер точного времени M400/GPS/SNTP, предназначенный для синхронизации времени и корректировки внутренних часов устройств нижнего уровня.

Вывод по разделу 9: была рассмотрена система управления электроснабжение на базе системы MicroSCADA. К данной АСУ ЭП подключается оборудование РУ-6 кВ проектируемой подстанции.

Заключение

В ходе выполнения работы была рассмотрена реконструкция коммутационного пункта КП-8 ОАО «Нафтан». Подстанция получает питание от Новополоцкой ТЭЦ по кабельной линии электропередач длиной 1,6 км напряжением 6кВ. В качестве пункта приёма электроэнергии используется КРУ-6 кВ со шкафами типа ZS1 фирмы АВВ, с выдвижными элементами и одинарными системами сборных шин. Расположение шкафов двухрядное, с нижним шинным мостом. Количество шкафов 34 шт. Шкафы укомплектованы вакуумными выключателями VD4-12 с пружинным приводом.

Для электроприемников собственных нужд, а также электроприемников 0,4/0,23 кВ близлежащих объектов, в здании КП предусматривается комплектная трансформаторная подстанция КТПСП-2×400 кВА фирмы АВВ, с технологией выдвижных модулей типа MNS. Подстанция однорядная с трансформаторами сухого исполнения типа TESAR.

Подключение трансформаторов подстанции выполнено по схеме «глухой ввод».

Электроприемники 0,4/0,23 и 6 кВ относятся к 1, 2, 3 категориям надежности электроснабжения. Обеспечение бесперебойного электроснабжения потребителей достигается глубоким секционированием отдельных звеньев электрической цепи: наличием АВР на стороне 6кВ КП, наличием АВР на стороне 0,4 кВ КТПСП, ЩПТ

В результате проделанной работы были определены следующие параметры электроснабжения. Расчётные нагрузки потребителей определены по методу коэффициента спроса. Питание потребителей осуществляется кабельными линиями, проложенными на существующих эстакадах. Для выбора элементов схемы электроснабжения был проведён расчёт токов короткого замыкания. На основании этих данных были выбраны аппараты на сторонах 6кВ, а также проведена проверка КЛЭП на термическую стойкость.

В качестве реле защит были использованы микропроцессорные терминалы защиты и управления серии REF541, REF545. Из результатов расчетов токов короткого замыкания были рассчитаны уставки защит для каждого отходящего фидера, а также вводов питания.

Так как здание КП-8 попадает в зону действия наружной взрывоопасной установки (наливная эстакада с тяжелыми сжиженными горючими газами), для помещения РУ было спроектирована собственная приточная вентиляционная системой. Так же в дипломном проекте предусматривалось устройство системы воздушного отопления, совмещенного с приточной вентиляцией. В качестве устройства для нагрева был использован электрокалорифер.

В проекте разработана и представлена схема топологии подключения оборудования РУ-6 кВ КП-8 к системе АСУ-ЭП MicroSCADA.

В целом предложенная схема электроснабжения отвечает требованиям безопасности, надёжности, экономичности.

Список используемых источников

1. Барыбин Ю.Г., Федорова Л.Е., Зименкова М.Г. Справочник по проектированию электроснабжения. М. : Энергоатомиздат, 1990. 576 с.
2. Бохан А.Н Практическое пособие к решению задач по курсу «Электрическая часть станций и подстанций» для студентов дневной и заочной форм обучения по специальности Т.01.01 «Электроэнергетика». Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2000. 41 с.
3. ГОСТ 21.210-2014. Условные графические изображения электрооборудования и проводок на планах.
4. ГОСТ 27514-87. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ.
5. Евминов Л.И., Селиверстов Г. И. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебно-методическое пособие. Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2016. 531 с.
6. Зоммер В.Г. AutoCAD 2008 Руководство чертежника, конструктора, архитектора. М. : Издательство БИНОМ, 2008. 816 с.
7. Калентионок Е.В., Прокопенко В.Г., Федин В.Т. Оперативное управление в энергосистемах: учебное пособие. Минск : «Вышэйшая школа», 2007. 351 с.
8. Каталог. Решение АBB для распределительных сетей: [сайт]. URL: <https://new.abb.com/ru> (дата обращения 05.09.2022).
9. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебник для СПО. М. : Высш. школа, 1990. 363 с.
10. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. СПб: Изд-во ДЕАН. 2015. 704 с.
11. Почаевец В.С. Автоматизированные системы управления устройствами электроснабжения железных дорог: учебник для СПО. М. : Маршрут, 2006. 314 с.

12. Радкевич В.Н., Козловская В.Б., Колосова И.В. Выбор электрооборудования систем электроснабжения промышленных предприятий: пособие для студентов специальности «Электроснабжение». Минск : БНТУ, 2017. 171 с.
13. Радкевич В.Н., Козловская В.Б., Колосова И.В. Расчет электрических нагрузок промышленных предприятий: учебно-методическое пособие. Минск : БНТУ, 2013. 123 с.
14. Радкевич В.Н. Проектирование систем электроснабжения: учебное пособие. Минск : НПО «Пион», 2001. 288 с.
15. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования / под ред. Б.Н. Неклепаева. М. : Издательство НЦ ЭНАС, 2002. 152 с.
16. РТМ 36.18.32.4-92 Указания к расчету электрических нагрузок. дата актуализации 01.01.2021. М. : 27 с.
17. СНБ 4.02.01-03 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Минск: изд. Минстройархитектуры, 2004, 82 с.
18. Соловьев А.Л. Методические указания по расчету уставок защит синхронных и асинхронных электродвигателей 6-10 кВ. Санкт-Петербург : ООО «НТЦ Механотроник», 2015. 79 с.
19. Ус А.Г., Евминов Л.И. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий: учебное пособие. Минск : НПО «Пион», 2002. 455 с.
20. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению: учебное пособие. 3-е изд. М. : ИНФРА-М, 2023. 136 с.