

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

Институт энергетики и электротехники
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование кафедры)

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

Электроснабжение
(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Электроснабжение корпусов ЗАО «GM-АВТОВАЗ»

Студент

Д.Э. Аверьянов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.В. Вахнина

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

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

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

(личная подпись)

« » 2018 г.

Тольятти 2018

Аннотация

В выпускной квалификационной работе рассмотрены вопросы, связанные электроснабжением корпусов ЗАО «GM-АВТОВАЗ».

Объект работы – корпуса ЗАО «GM-АВТОВАЗ».

Предмет работы – система электроснабжения корпусов ЗАО «GM-АВТОВАЗ».

Цель данной работы заключается в проектировании электроснабжения корпусов Т60 и Т2 ЗАО «GM-АВТОВАЗ», выборе силового электрооборудования таким образом, чтобы расходы на электроэнергию, а также аварии и несчастные случаи на производстве связанные с этим были минимальны.

В задачи работы входят:

- расчет электрических нагрузок и выбор трансформаторов КТП 10/0,4 кВ для обеспечения потребителей корпуса Т60 и Т2 электроэнергией;
- выбор и проверка кабелей и шинпроводов, установленных в корпусе Т60 и распределительном пункте предприятия;
- проверка системы электроснабжения, а также работы силового электрооборудования в нормальных и аварийных режимах;
- проверка на устойчивость выбранного электрооборудования к токам коротких замыканий;
- рассмотрение вопросов релейной защиты;
- рассмотрение вопросов безопасности работы в электроустановках;
- рассмотрение производственных издержек, связанных с проектированием и эксплуатацией электрооборудования системы электроснабжения корпусов Т60 и Т2.

Электротехнический расчет, включающий в себя расчет электрических нагрузок, расчет устойчивости электрооборудования, выбор силовых трансформаторов и др. выполнены в программном комплексе SINGAL (Siemens Network Calculation).

Содержание

Введение.....	6
1. Анализ проектируемого объекта.....	8
1.1 Анализ системы электроснабжения корпусов.....	8
1.2 Анализ технологического процесса корпусов Т60 и Т2	9
2 Расчет электрических нагрузок.....	10
2.1 Исходные данные.....	10
2.2 Определение электрических нагрузок.....	14
2.3 Определение полной некомпенсированной и компенсированной мощности.....	15
3 Выбор трансформаторов КТП 10/0,4 кВ.....	19
3.1 Вариант 1.....	19
3.2 Вариант 2.....	20
3.3 Вариант 3.....	21
4 Расчет тока короткого замыкания. Выбор электрооборудования.....	23
4.1 Программный комплекс для расчета токов короткого замыкания и нагрузки.....	23
4.2 Расчет 3-фазного тока короткого замыкания для выбора и проверки электрооборудования.....	23
4.3 Выбор электрооборудования 10 кВ.....	25
4.3.1 Распределительное устройство NXPlus C на 10 кВ (ЗРУ RP-GM).....	25
4.3.2 Выбор кабелей 10 кВ N2XSY 3x1x185мм ² и N2XSY 3x1x95мм ²	26
4.4 Выбор электрооборудование 0.4 кВ сборочного цеха Т60.....	27
4.4.1 Выключатели РУ 0,4 кВ 3WL1232-4.....	27
4.4.2 Многоамперные шины SENTRON™ на 2500 А и 800 А.....	30
4.5 Расчет 1-фазного тока короткого замыкания для выбора параметров защиты сети.....	32

5 Расчет электрической сети в нормальном и аварийном режимах.....	33
5.1 Расчет режимов электрической сети 10 кВ ЗРУ RP-GM.....	33
5.2 Условия нагрузки для двух кабельных линий 2xN2XSU 3x1x185мм ² двойной лучевой сети 10 кВ ЗРУ RP-GM.....	34
5.3 Условия нагрузки кабелей 10 кВ N2XSU 3x1x95мм ² для присоединения КТП SITRABLOC.....	35
5.4 Расчет потерь напряжения в сети 10 кВ ЗРУ RP-GM.....	37
5.4.1 Нормальный режим (NB).....	37
5.4.2 Аварийный режим (NB).....	38
5.5 Расчет коэффициента загрузки установленных в цехе Т60 трансформаторов GEAFOL TS601-TS603.....	39
6 Релейная защита сети.....	40
7 Компенсация реактивной мощности в системе электроснабжения корпусов.....	44
8 Экономическая эффективность работы.....	47
8.1 Исходные данные для расчета экономической эффективности работы.....	47
8.1.1 Экономические показатели ЗАО «GM-АВТОВАЗ».....	47
8.1.2 Физические и финансовые характеристики проектируемого объекта.....	47
8.2 Расчет суммы основных инвестиционных затрат.....	50
8.2.1 Расчет суммы основных инвестиционных затрат, вариант А.....	50
8.2.1 Расчет суммы основных инвестиционных затрат, вариант Б.....	51
8.3 Расчет стоимости потребления электроэнергии в год.....	51
8.4 Расчет годовой стоимости потребления холодного и горячего водоснабжения, годовой стоимости отопления.....	53
8.5 Расчет годовых расходов на оплату труда, социальные отчисления.....	55
8.6 Расчет затрат.....	56
8.7 Годовая смета затрат.....	57
8.8 Расчет годовой прибыли предприятия.....	58
8.9 Расчет чистой прибыли и рентабельности предприятия.....	58

8.10 Расчет полных инвестиционных затрат.....	59
8.11 Расчет срока окупаемости.....	60
Заключение.....	61
Список используемых источников.....	62
Приложение А.....	64
Приложение Б.....	67

Введение

В настоящее время трудно себе представить промышленное предприятие, не имеющее в своем распоряжении цехов, в которых не располагалось бы большое количество различного электрооборудования. Именно электрооборудование и различные электрические машины являются основой сегодняшнего производства. И работа, связанная с проектированием, эксплуатацией и управлением в области электрооборудования и электрохозяйства не перестает и не перестанет быть актуальной.

В условиях рыночной экономики важнейшей задачей для предприятий является снижение производственных издержек. А так как большую часть практически любого производства составляют электрооборудование и электрические машины, то соответственно большая часть издержек приходится именно на них. Это может быть нерациональное использование электрической энергии или не правильный выбор силового или другого электрооборудования, питающих кабелей или шинопроводов. Все это ведет за собой потерю прибыли, а также, что важнее всего может повлечь за собой несчастные случаи на производстве.

Цель данной работы заключается в проектировании электроснабжения корпусов Т60 и Т2 ЗАО «ГМ-АВТОВАЗ», выборе силового электрооборудования таким образом, чтобы расходы на электроэнергию, а также аварии и несчастные случаи на производстве связанные с этим были минимальны.

В задачи работы входят:

- расчет электрических нагрузок и выбор трансформаторов КТП 10/0,4 кВ для обеспечения потребителей корпуса Т60 и Т2 электроэнергией;
- выбор и проверка кабелей и шинопроводов, установленных в корпусе Т60 и распределительном пункте предприятия;
- проверка системы электроснабжения, а также работы силового электрооборудования в нормальных и аварийных режимах;

- проверка на устойчивость выбранного электрооборудования к токам коротких замыканий;
- рассмотрение вопросов релейной защиты;
- рассмотрение вопросов безопасности работы в электроустановках;
- рассмотрение производственных издержек, связанных с проектированием и эксплуатацией электрооборудования системы электроснабжения корпусов Т60 и Т2.

1 Анализ проектируемого объекта

Объект работы - это корпус Т60 (цех сборки) и корпус Т2 (административный корпус) на ЗАО «GM-АВТОВАЗ», которые расположены в одном здании. Также в работе учитываются потребители, получающие электроэнергию от этих корпусов. Площадь здания корпусов Т60 и Т2 составляет 4284 м².

Расположен завод ЗАО «GM-АВТОВАЗ» в северо-западной части промышленной зоны Автозаводского района города Тольятти вплотную с автомобильным заводом ОАО «АВТОВАЗ».

1.1 Анализ системы электроснабжения корпусов

Для электроснабжения корпуса Т60 сооружается ЗРУ RP-GM, оборудованное распределительным устройством NXPlus C на 10 кВ. ЗРУ RP-GM подключается к ГПП-6 110/10 кВ посредством двух шлейфов. Для реализации двухшлейфового соединения на 10 кВ используются две кабельные линии 2х N2XSU 3х1х185 мм². Для соблюдения принципа (n-1) – надежного электроснабжения потребителей 1 и 2 категории кабельные линии присоединяются к двум разным секциям сборных шин 10 кВ ГПП-6 – силовых трансформаторов 2Т и 3Т. При таком варианте подключения силовой секционный выключатель распределительного устройства NXPlus C на ЗРУ RP-GM 10 кВ в нормальном режиме работы остаётся разомкнутым.

Существующая на заводе «АвтоВАЗ» электрическая сеть 10 кВ, к которой присоединяется ЗАО «Джи Эм-АВТОВАЗ», работает с изолированной нейтралью [2]. При эксплуатации электрических сетей с изолированной нейтралью селективно отключаются только многофазные повреждения, а при наступлении 1-фазных - эксплуатация сети 10 кВ продолжается ограниченное время ($T < 3ч$) [5]. В соответствии с этим режимом и разрабатывается концепция электроснабжения проектируемых корпусов.

1.2 Анализ технологического процесса корпусов Т60 и Т2

В сборочном цехе Т60 электроприемники служат в первую очередь для поддержания процесса окончательной сборки. Установленные мощности двигателей для подъемно-транспортного оборудования, требующегося на сборке, относительно малы в соотношении с установленной мощностью питания сети 0.4 кВ. В административном корпусе Т2 основной нагрузкой на сеть является освещение и малые нагревательные электроприборы.

Поэтому для расчета параметров электрической сети значение имеет не влияние электродвигательной нагрузки в отдельности, а максимальная расчетная мощность всех потребителей в системе электроснабжения завода. Таким образом, определение электрических нагрузок можно проводить методом коэффициента спроса K_C в соответствии с рекомендациями литературы [8,11,16].

2 Расчет электрических нагрузок

2.1 Исходные данные

Для определения электрических нагрузок использованы следующие формулы [8,9]:

$$P_{max.} = P_y \cdot K_c \quad 2.1$$

$$Q_{max.} = P_{max.} \cdot \operatorname{tg}\varphi \quad 2.2$$

$$S_{max.} = \sqrt{P_{max.}^2 + Q_{max.}^2} \quad 2.3)$$

где P_y - установленная мощность;

$\operatorname{tg}\varphi$ - коэффициент реактивной мощности.

Исходные данные по потребителям представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Исходные данные по потребителям

Оборудование	Узел	$\cos\varphi$	P_y (кВт)	I_n (А)	K_c
Компрессоры корпуса Т60 (1)	1	0,85	300	280	0,566
Компрессоры корпуса Т60 (2)	1	0,85	300	280	0,566
Компрессоры корпуса Т60 (3)	1	0,85	300	280	0,566
Малый электроинструмент корпуса Т60 (1)	2	0,71	8	9	0,576
Малый электроинструмент корпуса Т60 (2)	3	0,71	40	69,5	0,585
Малый электроинструмент корпуса Т60 (3)	3	0,71	13,5	25,6	0,572
Малый электроинструмент корпуса Т60 (4)	3	0,71	22,5	41,5	0,605
Малый электроинструмент корпуса Т60 (5)	11	0,71	17,5	33,5	0,598

Малый электроинструмент корпуса Т60 (6)	14	0,71	50	85	0,585
Малый электроинструмент корпуса Т60 (7)	15	0,71	68	110	0,583

Продолжение таблицы 2.1

Оборудование	Узел	cosφ	Р _у (кВт)	И _н (А)	Кс
Освещение корпуса Т60 (1)	2	0,92	56,5	81,5	0,648
Освещение корпуса Т60 (2)	3	0,92	28,4	40,9	0,648
Освещение корпуса Т60 (3)	3	0,92	42,6	61,5	0,648
Освещение корпуса Т60 (4)	3	0,92	48,7	70,3	0,648
Освещение корпуса Т60 (5)	3	0,92	27,3	39,4	0,648
Освещение корпуса Т60 (6)	3	0,92	47,4	68,4	0,648
Освещение корпуса Т60 (7)	10	0,92	19,3	27,9	0,648
Освещение корпуса Т60 (8)	10	0,92	19	27,4	0,648
Освещение корпуса Т60 (9)	10	0,92	16,3	23,5	0,648
Освещение корпуса Т60 (10)	11	0,92	28,4	40,9	0,648
Освещение корпуса Т60 (11)	13	0,92	56,9	82,1	0,648
Освещение корпуса Т60 (12)	13	0,92	43,1	62,2	0,648
Освещение корпуса Т60 (13)	14	0,92	15,8	22,8	0,648
Освещение корпуса Т60 (14)	14	0,92	15,8	22,8	0,648
Освещение корпуса Т60 (15)	15	0,92	82,3	118,8	0,648
Освещение корпуса Т60 (16)	15	0,92	29,7	42,9	0,648
Электромеханические двери корпуса Т60 (1)	2	0,85	20,5	37	0,55
Электромеханические двери корпуса Т60 (2)	5	0,85	20,5	37	0,55
Электромеханические двери корпуса Т60 (3)	7	0,85	20,5	37	0,55
Электромеханические двери корпуса Т60 (4)	10	0,85	20,5	37	0,55
Электромеханические двери корпуса Т60 (5)	14	0,85	30	55	0,55
Электромеханические двери корпуса Т60 (6)	17	0,85	20,5	38,7	0,55
Вентиляция и кондиционирование корпуса Т2 (1)	1	0,85	200	349	0,7

Вентиляция и кондиционирование корпуса Т2 (2)	2	0,87	7,5	15,2	0,7
Вентиляция и кондиционирование корпуса Т2 (3)	2	0,87	7,5	15,2	0,7
Вентиляция и кондиционирование корпуса Т2 (4)	2	0,86	7,5	15,2	0,7

Продолжение таблицы 2.1

Оборудование	Узел	cosφ	Р _у (кВт)	И _н (А)	Кс
Вентиляция и кондиционирование корпуса Т60(1)	2	0,87	30	55	0,677
Вентиляция и кондиционирование корпуса Т60 (2)	3	0,86	45	81	0,7
Вентиляция и кондиционирование корпуса Т60 (3)	3	0,87	25	43,5	0,7
Вентиляция и кондиционирование корпуса Т60(4)	5	0,87	80	141,5	0,677
Вентиляция и кондиционирование корпуса Т60 (5)	8	0,87	60	115	0,677
Вентиляция и кондиционирование корпуса Т60 (6)	15	0,87	35	65,5	0,677
Вентиляция и кондиционирование корпуса Т60 (7)	17	0,87	40	72	0,677
Аккумуляторно-зарядные комнаты корпуса Т60 (1)	3	0,84	20	38	0,55
Аккумуляторно-зарядные комнаты корпуса Т60 (3)	10	0,85	13	24	0,55
Основное технологическое оборудование корпуса Т60 (1)	3	0,85	49,5	88,5	0,6
Основное технологическое оборудование корпуса Т60 (2)	3	0,85	98,5	180,3	0,6
Основное технологическое оборудование корпуса Т60 (3)	3	0,85	85	150	0,6
Основное технологическое оборудование корпуса Т60 (4)	3	0,85	70,5	130,3	0,6
Основное технологическое оборудование корпуса Т60 (5)	3	0,85	57	104,5	0,6
Основное технологическое оборудование корпуса Т60 (6)	3	0,85	50	89	0,6
Основное технологическое оборудование корпуса Т60 (7)	3	0,85	38	70	0,6

Основное технологическое оборудование корпуса Т60 (8)	6	0,85	55	99	0,6
Основное технологическое оборудование корпуса Т60 (9)	7	0,85	18,5	36	0,6

Продолжение таблицы 2.1

Оборудование	Узел	cosφ	Р _у (кВт)	И _н (А)	Кс
Основное технологическое оборудование корпуса Т60 (10)	7	0,85	14,5	30	0,6
Основное технологическое оборудование корпуса Т60 (II)	9	0,85	27	45	0,6
Основное технологическое оборудование корпуса Т60 (12)	10	0,85	56,5	104	0,6
Основное технологическое оборудование корпуса Т60 (13)	11	0,85	33,5	60	0,6
Основное технологическое оборудование корпуса Т60 (14)	12	0,85	109	194	0,6
Основное технологическое оборудование корпуса Т60 (15)	13	0,85	158	275	0,6
Основное технологическое оборудование корпуса Т60 (16)	13	0,85	42,5	75	0,6
Основное технологическое оборудование корпуса Т60 (17)	13	0,85	28	50	0,6
Основное технологическое оборудование корпуса Т60 (18)	14	0,85	20	38	0,6
Основное технологическое оборудование корпуса Т60 (19)	14	0,85	59	118,5	0,6
Основное технологическое оборудование корпуса Т60 (20)	14	0,85	53,5	86	0,6
Основное технологическое оборудование корпуса Т60 (21)	14	0,85	14	27	0,6
Основное технологическое оборудование корпуса Т60 (22)	14	0,85	58	106	0,6
Основное технологическое оборудование корпуса Т60 (23)	15	0,83	45,5	77,3	0,6
Основное технологическое оборудование корпуса Т60 (24)	16	0,85	76	137	0,6
Регулировка и установка колес в корпусе Т60	15	0,85	15,5	30	0,55

Склад горюче-смазочных материалов корпуса Т60	15	0,85	6	12	0,55
Специализированное технологическое оборудование	9	0,78	225	380	0,6

Продолжение таблицы 2.1

Оборудование	Узел	cosφ	Р _y (кВт)	I _n (А)	Кс
Специализированное технологическое оборудование	8	0,83	46,5	78,7	0,6
Специализированное технологическое оборудование	17	0,83	21,5	38,7	0,6
Система ручного оповещения «Андон» корпуса Т60	9	0,92	38,5	69,3	0,55
Офис корпуса Т60	7	0,92	7,5	15,2	0,6
Обеспечение основных потребителей корпуса Т2	4	0,92	101,5	163,4	0,6
Кухонное оборудование корпуса Т2	3	0,91	317,3	546,2	0,55
Основное технологическое оборудование корпуса Т1	5	0,84	87	159,3	0,6
Дополнительное технологическое оборудование корпуса Т1	5	0,85	23	43,5	0,55
Основное технологическое оборудование корпуса Т3О	12	0,85	570	770	0,55
Основное технологическое оборудование корпуса Т91	15	0,85	145	260	0,6

2.2 Определение электрических нагрузок

Определяем активные и реактивные мощности по узлам по следующим формулам [16]:

$$P_{max.i} = \sum_i^n P_{max}; \quad (2.4)$$

$$P_{max.i} = \sum_i^n Q_{max}, \quad (2.5)$$

где $P_{max.i}$ - максимальная активная мощность i -го узла;

$Q_{max.i}$ - максимальная реактивная мощность i -го узла;

n - количество групп электроприемников в i -ом узле;

$\sum_i^n P_{max}$ - сумма всех активных максимальных мощностей в i -ом узле;

$\sum_i^n Q_{max}$ - сумма всех реактивных максимальных мощностей в i -ом узле;

Определяем также сумму всех номинальных токов по узлам по формуле (2.6) и запишем полученные результаты в таблицу 2.2, расчет произведем в программе Microsoft Excel:

$$I_{н.у.i} = \sum_{i=1}^n I_{н}, \quad (2.6)$$

где $I_{н.у.i}$ – суммарный номинальный ток i -го узла;

$\sum_{i=1}^n I_{н}$ – сумма всех номинальных токов в i -ом узле;

n – количество групп электроприемников в i -ом узле;

При нахождении P_{max} , Q_{max} по узлам были использованы формулы (2.1), (2.2), (2.3). Полученные данные по потреблению активной и реактивной мощности по узлам, а также значения суммарного тока по узлам представлены в таблице 2.2.

2.3 Определение полной некомпенсированной и компенсированной мощности

Определим полную максимальную некомпенсированную потребную мощность $S_{\Sigma max}$ при $\cos\varphi$ по следующей формуле [12]:

Узлы потребителей сборочного цеха	Потребление активной мощности P_{\max} (кВт)	Потребление реактивной мощности Q_{\max} (квар)	Суммарный номинальный ток i- го узла $I_{н.i}$ (А)
1	648,6	402	1189
2	89,2	55,3	228,1
3	675,8	418,8	1938,4
4	66,5	35,9	181,4
5	131,1	81,2	383
6	33	20,4	99
7	63,8	34,4	119,9
8	66,5	41,2	193,7
9	170	105,3	494,3
10	182,7	98,6	245,5
11	20	12,4	134,4
12	380	235,5	964
13	108	66,9	544,3
14	186	115,8	561,1
15	261,3	161,9	716,5
16	45,7	28,3	137

$$S_{\square\max} = \sqrt{P_{\Sigma\max}^2 + Q_{\Sigma\max}^2} \quad (2.7)$$

17	51,7	32	146	Та бл
Сумма по всем	3180.8	1945,9	-	

ица 2.2 – Полученные данные

Определим коэффициент мощности $\cos\varphi$ при максимальной некомпенсированной мощности по следующей формуле [12]:

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_{\Sigma max}}{Q_{\Sigma max}} \quad (2.8)$$

$$\cos\varphi_1 = \frac{3180.8}{3728.1} = 0.853.$$

Определим полную максимальную компенсированную потребляемую мощность $S'_{\Sigma max}$ при $\cos\varphi_2 = 0,92$ по следующей формуле [12]:

$$S'_{\Sigma max} = \sqrt{P_{\Sigma max}^2 + (\sin\varphi_2 \cdot S_{\Sigma max})^2}, \quad (2.9)$$

$$S'_{\Sigma max} = \sqrt{3180.8^2 + (0.39 \cdot 3728.1)^2} = 3497.5 \text{ кВА}.$$

Результаты подведения баланса методом коэффициента спроса мощностей приведены на рисунке 2.1. Полученное распределение точечной нагрузки дает основу для выполнения дальнейших расчетов потоков нагрузки в электрической сети 0,4 кВ сборочного цеха Т60.

Максимальные расчетные токи по узлам определяются по следующей формуле:

$$I_p = \frac{S_{py}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \quad (2.10)$$

где $U_{ном}$ - номинальное напряжение сети;

S_{py} - максимальная потребляемая мощность в узле

Вычисления максимальных расчетных токов производились при помощи программного комплекса SINCAL [17].

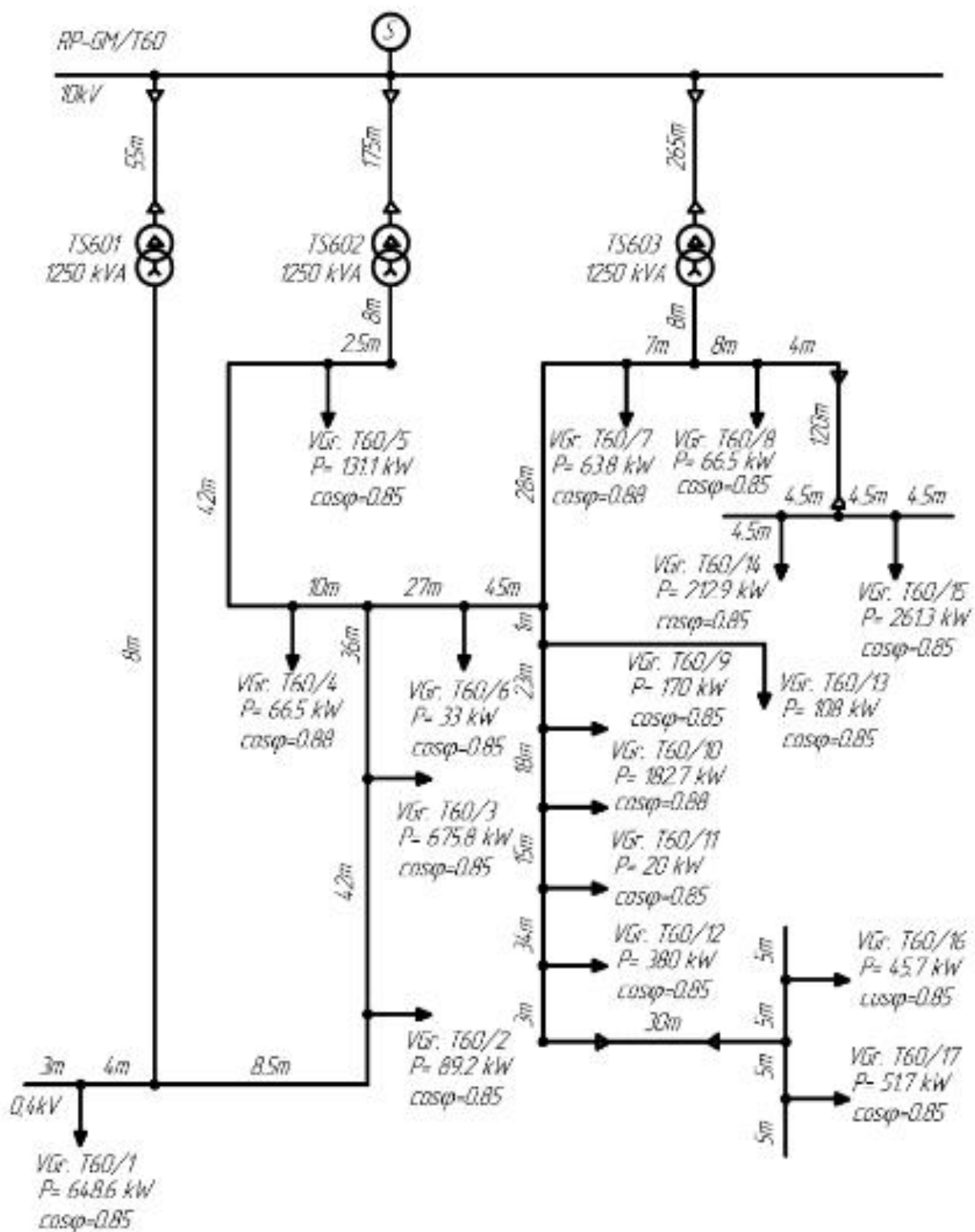


Рисунок 2.1 – Распределение точечной нагрузки

3 Выбор трансформаторов КТП 10/0,4 кВ

Для электроснабжения потребителей окончательной сборки (корпус Т60) и административного здания (корпус Т2) необходимо выбрать трансформаторы и расположить их в местах с наибольшим удельным весом электрических нагрузок. Распределение электрических нагрузок показано на рисунке 2.1. Из этой схемы видно, что наиболее загруженные узлы - это узел 1, узел 4, узлы 14 и 15 и узел 12. Из этого можно сделать вывод, что количество комплектных трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ (КТП) будет от 2 до 4 штук.

Рассмотрим несколько вариантов.

3.1 Вариант 1

Вариант № 1 - две однострансформаторные КТП.

Определим номинальную расчетную мощность трансформатора по формуле [16]:

$$S_{\text{тр.р}} \geq \frac{S'_{\text{max}}}{N}, \quad (3.1)$$

где S'_{max} - максимальная расчетная мощность при $\cos\varphi_2 = 0,92$;

N - целое число трансформаторов.

$$S_{\text{тр.р}} \geq \frac{3497,5}{2};$$

$$S_{\text{тр.р}} \geq 1748,75 \text{ кВА.}$$

Полученная номинальная расчетная мощность трансформаторов близка к мощности стандартного промышленного трансформатора 2000 кВА. Стандартный трансформатор с номинальной мощностью 2000 кВА

использовать не целесообразно, так как при отказе одного из трансформаторов мощности трансформатора 2000 кВА недостаточно, поэтому вариант с использованием двух КТП отклоняем.

3.2 Вариант 2

Вариант № 2 - три однострансформаторные КТП.

Определим номинальную мощность трансформатора по формуле (3.1):

$$S_{\text{тр.р}} \geq \frac{3497,5}{3}$$
$$S_{\text{тр.р}} \geq 1165,83 \text{ кВА}$$

Полученная номинальная расчетная мощность близка к номинальной мощности стандартного промышленного трансформатора 1250 кВА.

Рассмотрим режимы работы данного трансформатора в системе электроснабжения.

1 режим работы - нормальный режим работы [1]:

$$S_{\text{max}} \leq N \cdot S_{\text{тр}}; \tag{3.2}$$
$$S_{\text{max}} \leq 3 \cdot 1250;$$
$$S_{\text{max}} \leq 3750;$$
$$3497.5 \text{ кВА} \leq 3750 \text{ кВА}.$$

Условия нормального режима работы соблюдаются.

2 режим работы - аварийный режим работы (отказ одного из трансформаторов) [2,13]:

$$S_{\text{max}} \leq 1,4 \cdot N \cdot S_{\text{тр}}; \tag{3.3}$$

$$S_{max} \leq 1.4 \cdot 2 \cdot 1250;$$

$$3497.5 \leq 3750.$$

Условия аварийного режима работы соблюдаются.

Современные трансформаторы могут работать в аварийном режиме на 140% с учетом того, что в них применяются принудительное воздушное охлаждение с помощью специальных вентиляторов [10].

Несмотря на то, что второй вариант подходит, рассмотрим оставшиеся варианты.

3.3 Вариант 3

Вариант №3 - четыре одностранформаторные КТП:

Определим номинальную мощность трансформатора по формуле (3.1):

$$S_{тр.р} \geq \frac{3497,5}{4};$$

$$S_{тр.р} \geq 874,38 \text{ кВА.}$$

Полученная номинальная расчетная мощность трансформаторов близка к мощности стандартных промышленных трансформаторов 1000 кВА.

1 режим работы - нормальный режим работы:

$$S_{max} \leq N \cdot S_{тр};$$

3.2)

$$S_{max} \leq 4 \cdot 1000;$$

$$S_{max} \leq 4000;$$

$$3497.5 \text{ кВА} \leq 4000 \text{ кВА.}$$

Условия нормального режима работы соблюдается

2 режим работы - аварийный режим работы (отказ одного из трансформаторов):

$$S_{max} \leq 1,4 \cdot N \cdot S_{тр};$$

3.3)

$$S_{max} \leq 1.4 \cdot 3 \cdot 1000;$$

$$3497.5 \text{ кВА} \leq 4200 \text{ кВА}.$$

Исходя из того, что при необоснованном завышении мощности трансформаторов в них увеличиваются потери, и они не загружены, из двух наилучших вариантов выбора силовых трансформаторов - варианта №2 и варианта №3, выбираем вариант №2, так как трансформаторы мощностью 1250 кВА в полной мере удовлетворяют требованиям надежности электроснабжения.

Для электроснабжения электрооборудования электрической энергией выбираем одностранформаторные КТП 10/0,4 кВ типа SITRABLOC с сухими защищенными трансформаторами GEAFOL 1250 (1750) кВА, с заземляющими выключателями и установленными вентиляторами [19].

Из каталогов фирмы «Сименс» [18,20,21] выбираем для электроснабжения потребителей в сети 0,4 кВ:

- многоамперные шины SENTRON™ на 2500А и 800А;
- кабели N2XSY 3x1x95мм²;
- выключатели на вводе трансформатора 3WL1232-4.

Для реализации двухшлейфового соединения на 10 кВ используются две кабельные линии типа 2x N2XSY_3x1x185мм² [7,18].

4 Расчет токов короткого замыкания. Выбор электрооборудования

4.1 Программный комплекс для расчета токов короткого замыкания и нагрузки

Расчет сетей 10/0.4 кВ для ЗАО «GM-АВТОВАЗ» выполнен программным комплексом SINICAL (Siemens Network Calculation) – компонентами «короткое замыкание» и «поток нагрузки» [17].

Были проведены следующие расчеты:

1) 3-фазный расчет тока короткого замыкания для определения максимальных токов КЗ для проверки устойчивости оборудования к току короткого замыкания (с учетом подпитки асинхронных двигателей 0.4 кВ в случае КЗ);

2) 3-фазный расчет тока короткого замыкания для определения мощности короткого замыкания (без учета подпитки асинхронных двигателей на 0.4 кВ в случае КЗ), необходимой для ограничения колебаний напряжения, высших гармоник и т.д. в электрической сети;

3) 2-фазный и 1-фазный расчет тока короткого замыкания для определения минимальных токов КЗ для настройки и координации релейной защиты;

4) Расчет нагрузки для определения максимальных рабочих токов и узловых напряжений в целях проверки условия нагрузки и потерь напряжения в нормальном и аварийном режиме.

4.2 Расчет 3-фазного тока короткого замыкания для выбора и проверки электрооборудования

3-фазные расчеты тока короткого замыкания для выбора и проверки электрооборудования выполнены в соответствии с основными положениями ПЭС909 [21].

Расчет тока КЗ выполнен с заданной мощностью короткого замыкания на сборных шинах 10 кВ главного распределительного устройства ГПП-6 АО «АВТОВАЗ» $S_K'' = 323.9 \text{ МВА}$ ($I_K'' = 18.7 \text{ кА}$).

При выполнении расчетов КЗ приняты следующие допущения [4]:

- трансформаторы распределительной сети нерегулируемые с коэффициентом трансформации $k_T = 10/0.4$;
- соединения сборных шин имитируются линиями без полного сопротивления;
- подпитка асинхронными двигателями на 0.4 кВ в случае короткого замыкания имитируются как эквивалентный двигатель;
- асинхронными двигателями уровня напряжения 0.23 кВ пренебрегаем ввиду незначительного влияния;
- асинхронные двигатели 0.4 кВ принимаются во внимание с отношением $I_{an}/I_{r.mot} = 6$, средним коэффициентом мощности $\cos\varphi = 0.85$ и к.п.д. $\eta = 0.95$.

В основу расчетов токов короткого замыкания положено следующее коммутационное состояние, заданное АО «АВТОВАЗ»:

- секционные выключатели 10 кВ трехобмоточных трансформаторов 2Т и 3Т ГПП-6 разомкнуты;
- параллельное питание сети лакировочного цеха на 0.4 кВ от $n=4$ трансформаторов GEAFOL на 1250 кВА ($u_k = 6\%$) и суммарная мощность асинхронных двигателей составляет $\sum_i P_{mot-i} = 1936 \text{ кВт}$;
- параллельное питание сети сборочного цеха на 0.4 кВ от $n=3$ трансформаторов GEAFOL 1250 кВА ($u_k = 6\%$) и суммарная мощность подпитки асинхронных двигателей при КЗ $\sum_i P_{mot-i} = 1412 \text{ кВт}$.

4.3 Выбор электрооборудования 10 кВ

4.3.1 Распределительное устройство NXPlus C на 10 кВ (ЗРУ RP-GM)

Предусмотренная к использованию на ЗРУ RP-GM SF6-изолированная стационарная установка с силовыми выключателями NXPlus C [12] устойчива к короткому замыканию, если:

$$I_{SC} > I''_K; \tag{4.1}$$

$$I_{ma} > ip; \tag{4.2}$$

$$I_{thz-SA} > I_{thm}, \tag{4.3}$$

где I_{SC} - расчетный ток выключения при короткого замыкании ($I_{SC} = 25\text{кА}$);

I_{ma} - расчетный ток включения при коротком замыкании ($I_{ma} = 63\text{ кА}$);

I_{thz-SA} - допустимая термическая способность распреустройства NXPlus C выдерживать нагрузку тока короткого замыкания, определяется по формуле [13]:

$$I_{thz-SA} = I_{thr-SA} \cdot \sqrt{\frac{t_{thr-SA}}{t_k}}, \tag{4.4}$$

где I_{thr-SA} - расчетный кратковременный ток распреустройства NXPlus C ($I_{thr-SA}=25\text{кА}$);

I_{thr-SA} - расчетная продолжительность короткого замыкания распреустройства NXPlus C ($I_{thr-SA} = 3\text{с}$);

t_K - максимальная продолжительность короткого замыкания ($t_K = 0,9c$ - время соответствует максимальному времени защитного выключения I > на РУ 10 кВ ГПП-6);

I''_K - начальный переменный ток короткого замыкания;

i_p - ударный ток короткого замыкания;

I_{thm} - термически эквивалентный ток короткого замыкания, определяется по формуле [11]:

$$I_{thm} = I''_K \cdot \overline{m + n}, \quad (4.5)$$

где n - переменная составляющая тока короткого замыкания (принимается $n=1$ при для шин бесконечной мощности);

m - постоянная составляющая тока короткого замыкания.

Коэффициент m можно рассчитать следующим образом:

$$m = \frac{1}{2 \cdot f \cdot t_K \cdot \ln(x - 1)} \cdot e^{4 \cdot f \cdot t_K \cdot \ln(x - 1)} - 1, \quad (4.6)$$

где f – частота питающей сети ($f=50$ Гц);

x – ударный коэффициент, определяется как [13]:

$$x = \frac{i_p}{2 \cdot I''_K}. \quad (4.7)$$

Программным комплексом SINCAL на основании результатов расчета 3-фазного тока короткого замыкания выполнена проверка условий по формулам (4.1), (4.2) и (4.3) для установленного на ЗРУ RP-GM распределительного устройства NXPlus_C. Изолированное стационарное устройство с силовыми выключателями NXPlus C устойчиво к короткому замыканию и с учетом подпитки асинхронных двигателей на 0.4 кВ при КЗ.

4.3.2 Выбор кабелей 10 кВ N2XSY 3x1x185мм² и N2XSY 3x1x95мм²

Сечение провода кабеля среднего напряжения выбирается по условию [7]

$$I_{thz-K} > I_{thm}, \quad (4.8)$$

где I_{thm} - термически эквивалентный ток короткого замыкания, определяется по формуле (4.5);

I_{thz-K} - допустимая термическая способность кабеля среднего напряжения выдерживать нагрузку тока короткого замыкания [7]:

$$I_{thz-K} = A_n \cdot J_{thr} \cdot \sqrt{\frac{t_{thr-K}}{t_k}}, \quad (4.9)$$

где A_n - номинальное поперечное сечение провода;

J_{thr} - расчетная плотность тока малой продолжительности (для кабелей VPE с медным проводником согласно каталогу «Сименс» [18] при начальной температуре 90 °С и конечной температуре 250 °С расчетная плотность тока малой продолжительности $J_{thr} = 143 \text{ А/мм}^2$);

t_{thr-K} - расчетная продолжительность короткого замыкания кабелей среднего напряжения ($t_{thr-K} = 1,0 \text{ с}$);

t_k - максимальная продолжительность короткого замыкания (соответствует максимальному времени срабатывания $I >$ реле максимального тока с независимой выдержкой времени $t_k = 0,9 \text{ с}$ - для кабелей N2XSY 3x1x185мм² ЗРУ RP-GM, $t_k = 0,3 \text{ с}$ - для кабелей N2XSY 3x1 x95мм² КТП SITRABLOC).

По условию (4.8) выбираем кабели 10 кВ типа N2XSY 3x1x185мм² и 3x1x95мм² [18].

4.4 Выбор электрооборудования 0.4 кВ сборочного цеха Т60

4.4.1 Выключатели РУ 0,4 кВ 3WL1232-4

Суммарный ток короткого замыкания, протекающий через трансформаторы 10/0,4 кВ, определяется по формуле:

$$(I_{K\Sigma-F1} = I_{K \sum_{i=1}^{n-1} Tr} = \sum_{i=1}^{n-1} I_{K-Tr.i}). \quad (4.10)$$

Так как в цехе Т60 имеются асинхронные двигатели, то они осуществляют подпитку при коротком замыкании. Поэтому суммарный ток короткого замыкания для выключателей трансформаторов 3WL1232-4 в цехе Т60 рассчитывается по формуле:

$$I_{K\Sigma-F1} T60 = I_{K-SINCAL1.0} - I_{K-T}, \quad (4.11)$$

где I_{K-T} - ток короткого замыкания от группы асинхронных двигателей, в расчетах получено значение $I_{K-T} = 27,7$ кА;

$I_{K-SINCAL1.0}(T60)$ - суммарный ток короткого замыкания, рассчитанный в программном комплексе SINCAL для $n=3$ трансформаторов 1250 кВА и подпитки от асинхронных двигателей:

$$I_{K-SINCAL1.0} T60 = \sum_{i=1}^3 I_{K-Ti} + \sum_j I_{K-Mj}, \quad (4.12)$$

где I_{K-Ti} - ток короткого замыкания, рассчитанный в программном комплексе SINCAL для i -го трансформатора 1250 кВА;

I_{K-Mj} - ток короткого замыкания, рассчитанный по программном комплексе SINCAL для j -го эквивалентного асинхронного двигателя.

Предусмотренные к установке выключатели трансформатора SENTRON 3WL1232 [19] устойчивы к току короткого замыкания, если:

$$I_{cs}(3WL1232) > I''_{K\Sigma-F1}; \quad (4.13)$$

$$I_{cm} 3WL1232 > i_{p\Sigma-F1}; \quad (4.14)$$

$$I_{thz}(3WL1232) > I_{thm-F1}, \quad (4.15)$$

где $I_{cs}(3WL1232)$ - расчетный допустимый рабочий ток выключения при коротком замыкании для 3WL1232 ($I_{cs} = 100$ кА [19]);

$I_{cm}(3WL1232)$ - расчетный допустимый рабочий ток включения при коротком замыкании для 3WL1232 ($I_{cm} = 220$ кА [19]);

$I_{thz}(3WL1232)$ - термическая способность 3WL1232 выдерживать токовую нагрузку короткого замыкания:

$$I_{thz}(3WL1232) = I_{cw}(3WL1232) \cdot \frac{t_{cw}(3WL1232)}{t_k} \quad (4.16)$$

$I_{cw}(3WL1232)$ - расчетный ток малой продолжительности выключателя 3WL1232 ($I_{cw} = 85$ кА [19]);

$t_{cw}(3WL1232)$ - расчетная продолжительность короткого замыкания ($t_{cw} = 0,5$ с [19]);

t_k - максимальная продолжительность короткого замыкания ($t_k = 0,1$ с - время соответствует общему времени выключения t_{sd} расцепителя короткого замыкания ETU45B S);

$I''_{K\Sigma-F1}$ - начальный ток короткого замыкания для точки F1;

$i_{p\Sigma-F1}$ - ударный ток короткого замыкания для точки F1;

I_{thm-F1} - термический ток короткого замыкания для точки F1:

$$I_{thm-F1} = I''_{K\Sigma-F1} \cdot \frac{m_{F1} + n_{F1}}{m_{F1}}, \quad (4.5)$$

где m_{F1} - постоянная составляющая тока короткого замыкания для точки F1.

Для определения коэффициента m_{F1} можно использовать уравнение (4.17):

$$m_{F1} = \frac{1}{2 \cdot f \cdot t_k \cdot \ln(x_{F1} - 1)} \cdot [e^{4 \cdot f \cdot t_k \cdot \ln x_{F1} - 1} - 1], \quad (4.18)$$

где x_{F1} – ударный коэффициент:

$$x_{F1} = \frac{i_{p\Sigma-F1}}{2 \cdot I''_{k\Sigma-F1}}, \quad (4.19)$$

n_{F1} - переменная составляющая тока короткого замыкания для точки F1.

Расчетная точка КЗ F1 (короткое замыкание на стороне 0,4 кВ трансформатора GEAFOL 1250 кВА) соответствует случаю шин бесконечной мощности, т.к. генераторы ЭС бесконечно удалены. Поэтому принимаем $n_{F1} = 1$.

При выборе выключателя условия (4.13), (4.14), (4.15) выполняются, поэтому выбираем выключатели 3WL1232-4 на 3200 А [19].

4.4.2 Многоамперные шины SENTRON™ на 2500 А и 800 А

В программном комплексе SINCAL для выбора многоамперных шин рассмотрен самый тяжелый случай – 3-фазное КЗ непосредственно на многоамперных шинах (точка F2). В этом случае суммарный ток короткого замыкания определяется по следующей формуле:

$$I_{K\Sigma-F2}(KP - HSS) = \sum_{i=1}^3 I_{K-Ti} + \sum_j I_{K-Mj}, \quad (4.20)$$

где $I_{K\Sigma-F2} KP - HSS$ - ток короткого замыкания в любой узловой точке многоамперной шины SENTRON™ на 2500 А или 800 А, рассчитанный в программном комплексе SINCAL.

Для выбора многоамперных шин использовано следующее выражение [11]:

$$I_{K\Sigma max-F2} = \max_i \{I_{K\Sigma-F2}(KP - HSS)_i\}. \quad (4.21)$$

Многоамперные шины SENTRON™ на 2500 А и 800 А устойчивы к короткому замыканию, если выполняются условия:

$$I_{pk}(SENTRON) > i_{pmax-F2}; \quad (4.22)$$

$$I_{thz}(SENTRON) > i_{thzmax-F2}, \quad (4.23)$$

где $I_{pk}(SENTRON)$ - расчетная устойчивость к ударному току КЗ многоамперных шин SENTRON™ (по [20] $I_{pk} SENTRON 2500 A = 315kA$; $I_{pk} SENTRON 800 A = 148 kA$);

$I_{thz}(SENTRON)$ - термическая способность выдерживать нагрузку током короткого замыкания многоамперных шин SENTRON™:

$$I_{thz}(SENTRON) > I_{cw}(SENTRON) \cdot \overline{t_{cw}(SENTRON)/t_k}, \quad (4.24)$$

где $I_{cw}(SENTRON)$ - расчетный ток малой продолжительности многоамперных шин SENTRON™ (по [20] $I_{cw} (SENTRON 2500 A) = 130 \text{ кА}$; $I_{cw} (SENTRON 800 A) = 47 \text{ кА}$);

$t_{cw} (SENTRON)$ - расчетная продолжительность короткого замыкания многоамперных шин SENTRON™ ($t_{cw} (SENTRON 2500A) = 1,0 \text{ с}$; $t_{cw} (SENTRON 800A) = 1,0\text{с}$);

t_k - максимальная продолжительность короткого замыкания (принимается $t_k=0,30 \text{ с}$ для расцепителя 7SJ62);

$i_{pmax-F2}$ - максимальный ударный ток короткого замыкания в точке КЗ F2;

$I_{thm.max-F2}$ - максимальный термический эквивалентный ток короткого замыкания в точке КЗ F2:

$$I_{thm_{max-F2}} = I''_{Kmax-F2} \cdot \overline{m_{F2} + n_{F2}}, \quad (4.25)$$

$I''_{Kmax-F2}$ - максимальный начальный переменный ток короткого замыкания в месте аварии F2;

n_{F2} - переменная составляющая тока короткого замыкания при КЗ в точке F2 (т.к. точка F2 значительно удалена от шин ЭС принимаем $n_{F2}=1$);

m_{F2} - постоянная составляющая тока короткого замыкания при КЗ в точке F2;

$$m_{F2} = \frac{1}{2 \cdot f \cdot t_k \cdot \ln(x_{F2}-1)} \cdot [e^{4 \cdot f \cdot t_k \cdot \ln x_{F2}-1} - 1], \quad (4.18)$$

x_{F2} - ударный коэффициент для точки КЗ F2:

$$x_{F2} = \frac{i_{pmax-F2}}{2 \cdot I''_{Kmax-F2}} \quad (4.7)$$

Условия выбора для многоамперных шин SENTRON™ на 2500 А и SENTRON™ на 800 А выполняются, поэтому выбранные многоамперные шины устойчивы к короткому замыканию [20].

4.5 Расчет 1-фазного тока короткого замыкания для выбора параметров защиты сети

В случае замыкания на землю для ограниченной во времени дальнейшей эксплуатации сетей среднего напряжения с изолированной нейтралью рекомендуется следующий емкостный ток заземления [1]:

$$10A < I_{CE} < 35A. \quad (4.28)$$

По данным АО «АВТОВАЗ» емкостный ток замыкания на землю в предусмотренной к расширению сети на 10 кВ составляет $I_{CE} = 30$ А. С учетом подключения ЗРУ RP-GM емкостной ток повышается на 2.5 А. Таким образом, при подключении к сети 10 кВ нового ЗРУ 10 кВ условие (4.28) выполняется:

$$10A < 32,5 < 35A.$$

5 Расчет электрической сети в нормальном и аварийном режимах

Для окончательного выбора электрооборудования электрической сети проверим по условиям нагрузки и потери напряжения в нормальном и аварийном режимах.

Условия нагрузки [1]:

$$I_{zul} > I_{Bmax}, \quad (5.1)$$

где I_{zul} – допустимая токовая нагрузка электрического оборудования;

I_{Bmax} – максимальный рабочий ток

Условия потери напряжения [1]:

$$\Delta U_{zul} > \Delta U_{max}, \quad (5.2)$$

где ΔU_{zul} – допустимая потеря напряжения;

ΔU_{max} – максимальное падение напряжения, имеющее место при I_{Bmax} .

Максимальные рабочие токи I_{Bmax} и потери напряжения ΔU_{max} получены с помощью программного комплекса SINCAL [17].

Исходными данными для расчета режимов электрической сети в программном комплексе SINCAL являются электрические нагрузки, которые были определены методом коэффициента спроса и приведены в таблице 2.1.

5.1 Расчет режимов электрической сети 10 кВ ЗРУ RP-GM

Суммарная нагрузка, определенная методом коэффициента спроса, для потребителей трехфазного и переменного тока в цехе Т40, составляет $S_{max} = 3874.0$ кВА. Дополнительно к этой расчетной мощности требуется около 600

кВА для процесса электрофорезной окраски. Мощность, необходимая для процесса электрофорезной окраски, подается от отдельного трехобмоточного трансформатора TS405 на 630/420/210 кВА, подключаемого к секции сборных шин на 10 кВ для электроснабжения сборочного цеха Т60.

Таким образом, для электроснабжения потребителей сборочного цеха Т60 требуется максимальная мощность $S_{\max} = 4497.5 \text{кВА}$.

В целом для электроснабжения цехов Т40 и Т60 расчетная нагрузка составляет $S_{\max} = 7971.5 \text{кВА}$.

Электрическая сеть 10 кВ ЗРУ RP-GM выполняется по двойной лучевой схеме. К установке принимаем две кабельные линии типа 2х N2XSU 3х1х185мм² [18].

5.2 Условия нагрузки для двух кабельных линий 2хN2XSU 3х1х185мм² двойной лучевой сети 10 кВ ЗРУ RP-GM

Допустимая токовая нагрузочная способность кабельных линий 10 кВ двойной лучевой сети 10 кВ ЗРУ RP-GM рассчитывается по уравнению (5.3):

$$I_{Kzul-NB/HB} = n \cdot I_r \cdot f_1 \cdot f_2, \quad (5.3)$$

где n – число проложенных параллельно кабелей ($n=2$);

I_r - расчетный ток ($I_r = 457 \text{ А}$ для прокладки кабелей в земле [18]);

f_1 - коэффициент пересчета для прокладки в земле ($f_1 = 0,93$ для удельного теплового сопротивления почвы 1,0 км/Вт и степени нагрузки $m = 1,0$, допустимая температура проводов 90°C и температура почвы 20°C [18]);

f_2 - коэффициент пересчета для прокладки в земле ($f_2 = 0,7$ для одножильных кабелей в трехфазных системах, удельное тепловое сопротивление почвы 1,0км/Вт и $n = 4$ [18]).

$$I_{Kzul-NB/HB} = 2 \cdot 457A \cdot 0,93 \cdot 0,7 = 595 A \quad (5.4)$$

1. Нормальный режим (NB)

При расчете в программном комплексе SINCAL получено:

$$I_{Kzul-NB/HB} > I_{Bmax-NB}; \quad (5.5)$$

$$595 A > 229,7 A; \quad (\text{кабельная линия 1})$$

$$595 A > 244,0 A; \quad (\text{кабельная линия 2})$$

Условие (5.5) для нормального режима выполняется. Двойная лучевая сеть 10 кВ с нормально разомкнутым продольным соединением на ЗРУ RP-GM может надежно передавать требуемую мощность.

2. Аварийный режим (HB)

При расчете в программном комплексе SINCAL (рисунок А2 и А3, Приложение А) получено:

$$I_{Kzul-NB/HB} > I_{Bmax-HB}; \quad (5.6)$$

$$595 A > 474,1 A; \quad (\text{отказ кабельной линии 1})$$

$$595 A > 474,1 A. \quad (\text{отказ кабельной линии 2})$$

Двойная лучевая сеть на 10 кВ выполняет также условие (5.6) для аварийного режима. При отказе одной кабельной линии остающаяся в работе кабельная линия может одна передавать всю мощность, необходимую для сборочного цеха Т60.

5.3 Условия нагрузки кабелей 10 кВ N2XSY 3x1x95мм² для присоединения КТП SITRABLOC

Условия (5.5) и (5.6) должны выполняться также используемых для присоединения КТП SITRABLOC кабелей 10 кВ типа NSXSY 3x1x95мм². Для

расчета допустимой нагрузки в нормальном и аварийном режимах используется следующее уравнение:

$$I_{Kzul-NB/HB} = I_r \cdot f_{\vartheta} \cdot f_H, \quad (5.7)$$

где I_r - расчетный ток ($I_r = 358$ А при прокладке в воздухе [18]);

f_{ϑ} - коэффициент пересчета для отклонений температуры воздуха ($f_{\vartheta} = 0,91$ для $\vartheta = 40^{\circ}\text{C}$ [18]);

f_H - коэффициент пересчета для прокладки нескольких кабелей рядом ($f_H = 0,96$ для прокладки 3 кабелей [18]).

$$I_{Kzul-NB/HB} = 358\text{A} \cdot 0,91 \cdot 0,96 = 313 \text{ A}. \quad (5.8)$$

1. Нормальный режим (NB)

Нормальный режим в сборочном цехе Т60 характеризуют 3 параллельно включенные КТП SITRABLOC.

При расчете в программном комплексе SINCAL для сборочного цеха Т60 (секция сборных шин RP-GM/Т60) получено:

$$I_{Kzul-NB/HB} > I_{Bmax-NB}; \quad (5.9)$$

$$313 \text{ A} > 67,65 \text{ A}; \quad (\text{кабель TS601})$$

$$313 \text{ A} > 63,56 \text{ A}; \quad (\text{кабель TS602})$$

$$313 \text{ A} > 69,42 \text{ A}; \quad (\text{кабель TS603})$$

Условие (5.9) выполняется.

2. Аварийный режим (HB)

Аварийный режим происходит тогда, когда электроснабжение сети 10/0.4 кВ должны обеспечивать n-1 параллельно включенных трансформаторов. После отказа одного трансформатора остающиеся в работе n-1 трансформаторы должны обеспечивать мощность отказавшего. Соответственно большую нагрузку несут кабели SITRABLOC.

Расчет выполнен в программном комплексе SINICAL.

Сборочный цех Т60 (секция сборных шин RP-GM/Т60):

$$I_{Kzul-NB/HB} > I_{Bmax-NB}; \quad (5.10)$$

$$313 \text{ A} > 104,49 \text{ A}; \quad (\text{кабель TS601 отказал})$$

$$313 \text{ A} > 102,02 \text{ A}; \quad (\text{кабель TS602 отказал})$$

$$313 \text{ A} > 104,80 \text{ A}. \quad (\text{кабель TS603 отказал})$$

Как условие (5.10), так и условие (5.9) выполняются. В нормальном и в аварийном режимах перегрузка кабелей SITRABLOC N2XSY 3x1x95м² исключена, т.е. для выбора кабелей SITRABLOC необходима проверка на устойчивость к току короткого замыкания.

5.4 Расчет потерь напряжения в сети 10 кВ ЗРУ RP-GM

Выполним анализ потерь напряжения, вызванных максимальными рабочими токами в сети 10 кВ ЗРУ RP-GM.

5.4.1 Нормальный режим (NB)

В нормальном режиме обе кабельные линии двойной лучевой сети 10 кВ работают при разомкнутом секционном выключателе на ЗРУ RP-GM. Кроме того, в сети на 0.4 кВ цеха Т40 параллельно включены n=4 трансформатора GEAFOL 1250 кВ, а в сети на 0.4 кВ цеха Т60 - n=3. Дополнительный отдельный трехобмоточный трансформатор на 630/420/210 кВА снабжает выпрямители для процесса электрофорезной окраски. Максимальная потеря напряжения:

$$\Delta u_{max-NB} = \Delta u_{RP-GM-NB} + \max_i \Delta u_{i-NB}, \quad (5.11)$$

где $\Delta u_{RP-GM-NB}$ - максимальная потеря напряжения на сборной шине на 10 кВ на ЗРУ RP-GM в нормальном режиме (0,1%, Приложение А, рисунок

A1);

$\max_i \Delta u_{i-NB}$ - максимальная потеря напряжения, вызываемая рабочими токами, протекающими через кабели SITRABLOC в нормальном режиме ($\max_i \Delta u_{i-NB} = 0,1\%$).

$$\Delta u_{\max-NB} = 0,1\% + 0,1\% = 0,2\% \quad (5.12)$$

5.4.2 Аварийный режим (НВ)

Рассмотрим наихудший случай в аварийном режиме, когда отказывает одна из обеих кабельных линий 10 кВ двойной лучевой сети ЗРУ RP-GM. При отказе трансформатора GEAFOL 1250 кВ снизится надежность электроснабжения сборочного цеха Т60.

Максимальная потеря напряжения:

$$\Delta u_{\max-HB} = \Delta u_{RP-GM-HB} + \max_i \Delta u_{i-HB}, \quad (5.13)$$

где $\Delta u_{RP-GM-HB}$ - максимальная потеря напряжения на сборной шине 10 кВ ЗРУ RP-GM в аварийном режиме ($\Delta u_{RP-GM-HB} = 0,2\%$, Приложение А, рисунки А2 и А3);

$\max_i \Delta u_{i-HB}$ - максимальная потеря напряжения, вызываемая рабочими токами, протекающими через кабели SITRABLOC в аварийном режиме ($\max_i \Delta u_{i-HB} = 0,1\%$).

$$\Delta u_{\max-HB} = 0,2\% + 0,1\% = 0,3\%. \quad (5.14)$$

Максимальные потери напряжения в нормальном и аварийном режимах позволяют проверить условие потери напряжения в двойной лучевой сети 10 кВ ЗРУ RP-GM:

$$\Delta u_{zul-NB} > \Delta u_{max-NB} \quad (5.15)$$

$$1,0\% > 0,2\%$$

$$\Delta u_{zul-NB} > \Delta u_{max-NB} \quad (5.16)$$

$$3,0 > 0,3\%$$

Условия (5.15) и (5.16) выполняются во всех узлах сети 10 кВ ЗРУ RP-GM.

5.5 Расчет коэффициента загрузки установленных в цехе Т60 трансформаторов GEAFOL TS601-TS603

1. Нормальный режим (NB)

Нормальный режим в сборочном цехе Т60 характеризуется тем, что в электрической сети на 0,4 кВ три трансформатора GEAFOL 1250 кВА вместе запитывают многоамперную шину SENTRON™ на 2500 А. Для того, чтобы вентиляторы КТП SITRABLOC TS601-TS603 оставались выключенными в нормальном режиме, должно выполняться условие нагрузки:

$$I_{Tzul-NB} > I_{T-NB}. \quad (5.17)$$

Расчет нормального режима электрической сети 0,4 кВ сборочного цеха Т60 приведен в приложении Б, таблица Б1. Согласно таблице Б1 можно сделать вывод, что вентиляторы КТП SITRABLOC не будут включаться в нормальном режиме. Максимальный коэффициент загрузки трансформаторов составляет 0,917.

2. Аварийный режим (NB)

Условие для аварийного режима:

$$I_{Tzul-NB} > I_{T-NB}. \quad (5.18)$$

Условие (5.18) для установленных в сборочном цехе Т60 трансформаторов GEAFOL 1250 кВА приведено в таблице Б2, приложение Б. Согласно таблице Б2 условие (5.18) выполняется для всех важных аварийных коммутационных переключений.

Коэффициент загрузки силовых трансформаторов TS601 - TS603 в аварийном режиме колеблется между 0,953 ... 0,988.

6 Релейная защита сети

Для релейной защиты электрооборудования сборочного цеха Т60 в ЗРУ RP-GM установлены:

- цифровые максимальные реле тока с выдержкой времени SIPROTEC 7SJ63 для защиты от однофазных замыканий на землю;
- цифровые максимальные реле тока с выдержкой времени SIPROTEC 7SJ62 со схемой Холмгринна для защиты трансформатора.

Подключение цифровых максимальных реле тока с выдержкой времени SIPROTEC 7SJ63 осуществляется через 3-фазные трансформаторы тока с коэффициентом трансформации 1000 А/1 А. Для подключения цифровых максимальных реле тока с выдержкой времени SIPROTEC 7SJ62 все отводные панели трансформаторов 10 кВ оснащены 3-фазными трансформаторами тока с коэффициентами трансформации 100 А/1 А. Для выявления емкостного тока замыкания на землю в диапазоне $10\text{A} < I_{CE} < 35\text{A}$ на ЗРУ RP-GM используются дополнительные кабельные трансформаторы тока с коэффициентом трансформации 60 А/1 А.

Для защиты электрооборудования сборочного цеха Т60 предусмотрены:

- выключатели на 3200 А 3WL1232-4, выполненные с расцепителем ETU45В для защиты от перегрузки, короткого замыкания с выдержкой времени и короткого замыкания без выдержки времени на питающих панелях многоамперных шин подстанций SITRABLOC;
- низковольтные предохранители большой разрывной мощности с номинальным током $I_n \leq 630\text{ A}$ в отводных коробках многоамперных шин SENTRON™ на 2500 А.

Распределение токов КЗ при однофазных замыканиях в сети 10 кВ с изолированной нейтралью при однофазном замыкании кабеля 10 кВ показано на рисунке 6.1.

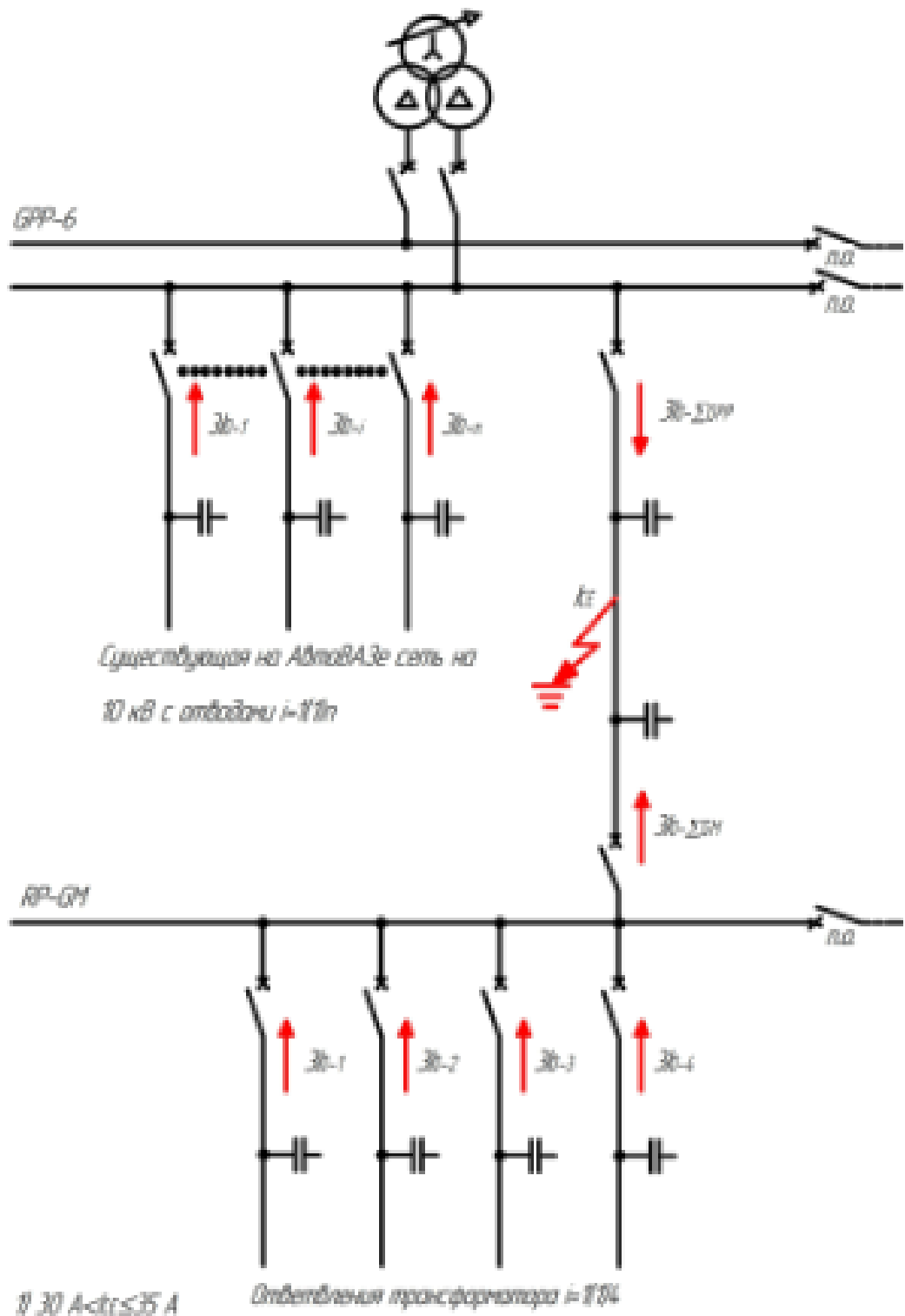


Рисунок 6.1 - Распределение тока однофазного КЗ при замыкании на землю кабеля 10 кВ

На основании распределения токов однофазного КЗ при замыкании на землю кабеля 10 кВ определяются настройки уставок реле SIPROTEC 7SJ62.

В защитные системы питающих и отводных панелей ЗРУ RP-GM на 10 кВ входят трансформаторы тока со следующими параметрами:

- питающие панели: $u = 1000\text{A}/1\text{ A}$, Klasse 10P, $K_{ALF} = 10$, $P_{BN} = 10\text{ VA}$, $R_i = 3.6\ \Omega$ (для подключения 7SJ63);

- отводные панели: $u = 100\text{A}/1\text{A}$, Klasse 10P, $K_{ALF} = 10$, $P_{BN} = 10\text{ VA}$, $R_i = 2.2\ \Omega$ (для подключения 7SJ62).

Трансформаторы тока передают на цифровые реле SIPROTEC 7SJ63 и 7SJ62 вторичные токи с компенсацией токовых и угловых погрешностей. Для этого необходимо определить рабочую кратность насыщения K_{ALF}^* трансформатора тока:

$$K_{ALF}^* = K_{ALF} \cdot \frac{R_{BN} + R_i}{R_{BC} + R_i}, \quad (6.1)$$

где K_{ALF}^* - номинальная кратность насыщения ($K_{ALF}^* = 10$);

R_i - внутреннее полное сопротивление нагрузки, $R_i (1000\text{A}/1\text{A}) = 3,6\ \Omega$, $R_i (100\text{A}/1\text{A}) = 2,2\ \Omega$;

R_{BN} - номинальное полное сопротивление нагрузки трансформатора тока

$$R_{BN} = \frac{P_{BN}}{I_{N2}^2}; \quad (6.2)$$

P_{BN} - номинальная мощность трансформатора тока, $P_{BN} = 10\text{ VA}$;

I_{N2} - вторичный номинальный ток трансформатора тока, $I_{N2} = 1\text{ A}$;

R_{BC} - фактическое полное сопротивление нагрузки

$$R_{BC} = R_{Relais} + R_i; \quad (6.3)$$

R_{Relais} - полное сопротивление нагрузки цифрового реле SIPROTEC 7SJ63 и 7SJ62

$$R_{Reals} = \frac{P_{Reals}}{I_{N2}^2};$$

6.4)

P_{Relais} - мощность цифрового реле SIPROTEC 7SJ63 и 7SJ62, $P_{\text{Relais}} = 0,1$

Вт;

R_l - полное сопротивление нагрузки вторичных проводов

$$R_l = \frac{2 \cdot l \cdot \rho}{S}$$

6.5)

l - длина провода, $l = 4.5$ м;

ρ - удельное сопротивление провода, $\rho = 0,0179 \text{ } \Omega \text{ мм}^2 / \text{м}$;

S - поперечное сечение провода, $S = 4 \text{ мм}^2$.

Расчетная рабочая кратность насыщения K_{ALF}^* должна соответствовать условиям:

$$K_{ALF}^* \geq 20$$

6.6)

$$K_{ALF}^* > \frac{I \gg}{I_{N1}}$$

6.7)

где $I \gg$ - первичная уставка $I \gg$ для цифровых реле 7SJ63 и 7SJ62;

I_{N1} - первичный номинальный ток трансформатора тока.

Для цифровых реле SIPROTEC 7SJ63 и 7SJ62 соответственно получили:

$$52 \geq 20;$$

$$32 \geq 20,$$

Т.е. условие (6.6) выполняется – при однофазных коротких замыканиях замыкания выбранные цифровые реле надежно защищают электрическую сеть.

7 Компенсация реактивной мощности в системе электроснабжения корпусов

В сборочном цехе Т60 расположено большое число потребителей с разной установленной мощностью, разной продолжительностью включения и коэффициентом мощности $\cos\varphi$. Для повышения $\cos\varphi$ рассмотрим децентрализованную компенсацию реактивной мощности на стороне 0,4 кВ КТП SITRABLOC.

Выполним расчет установки необходимых компенсирующих устройств для повышения коэффициента мощности с $\cos\varphi_1$ до $\cos\varphi_2$:

$$Q_c = P_{max} \operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2 ; \quad (7.1)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_1}}{\cos^2 \varphi_1};$$

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_2}}{\cos^2 \varphi_2},$$

где $\cos\varphi_1$ – коэффициент мощности до компенсации;

$\cos\varphi_2$ – коэффициент мощности после компенсации.

Известно, что для повышения коэффициента мощности сети с $0,70 < \cos\varphi_1 < 0,80$ до $0,90 < \cos\varphi_2 < 0,98$ требуется примерно 40% номинальной мощности трансформатора S_T [8]. Таким образом, требуемая реактивная мощность компенсирующих устройств Q_c на КТП SITRABLOC TS601-TS603 составит:

$$Q_c = 0,4 \cdot S_T = 0,4 \cdot 1250 \text{кВа} = 500 \text{квар}. \quad (7.2)$$

Устанавливаем регулируемые ступенчатые не дросселированные конденсаторные блоки типа 4RB5250-5AB52. Для сборочного цеха Т60

подобраны 3 ступени переключения с мощностями ступеней $Q_{C1} = 100$ квар, $Q_{C2} = 200$ квар и $Q_{C3} = 200$ квар на каждую КТП SITRABLOC.

КТП SITRABLOC оборудованы не дросселированными конденсаторными блоками. Не дросселированная компенсация реактивной мощности, как правило, рекомендуется только тогда, когда доля нелинейных потребителей (приводы с тиристорным управлением, энергосберегающие лампы, преобразователи частоты и т.д.) составляет не более 20% общей нагрузки, т.к. нелинейные потребители создают высшие гармоники. Токи высших гармоник вызывают дополнительную термическую нагрузку для используемых на подстанциях SITRABLOC конденсаторов. Вызванная высшими гармониками термическая нагрузка конденсаторов выражается следующим отношением:

$$I_{th} = \sqrt{I_{(1)}^2 + \sum_v I_v^2}, \quad 7.3)$$

где I_{th} - термически эффективный нагрузочный ток;

$I_{(1)}$ - ток основной гармоники;

I_v - ток высшей гармоники v -го порядка.

Используемые на подстанциях SITRABLOC конденсаторные блоки типа 4RB5250-5AB52 ($U_m = 525$ В, $Q_c = 100$ квар при $U_B = 400$ В, $f=50$ Гц) имеют по меньшей мере 30% резерв для дополнительной термической нагрузки высшими гармониками. Поэтому термическая перегрузка выбранных для компенсации реактивной мощности конденсаторных блоков 4RB5250-5AB52 практически исключена.

Другое отрицательное явление - это искажение сетевого напряжения под действием того, что напряжения высших гармоник, вызванные токами высших гармоник, накладываются на первоначально синусоидальное рабочее напряжение. Однако такие обратные воздействия на сеть возможны только при крайне высокой нагрузке высшими гармониками. Для защиты в этом случае применяются дросселированные конденсаторы. Решение относительно

дополнительного дросселирования конденсаторных блоков 4RB5250-5AB52 следует принимать на основании измерений, проведенных в ходе процесса производства. С помощью этих измерений можно установить оптимальную степень дросселирования p для разгрузки сети от критических высших гармоник I_v .

Степень дросселирования p - это выраженная в процентах величина дроссельной реактивности, отнесенная к включенной на выходе реактивности конденсатора при частоте сети f_N . Настраиваемая частота f_R последовательного колебательного контура, образованного дросселем и конденсаторным блоком, зависит от степени дросселирования p , а именно:

$$f_R = n_R \cdot f_N; \tag{7.4)}$$

$$n_R = \frac{100}{p/\%}. \tag{7.5)}$$

где n_R - соотношение частоты последовательного резонанса напряжений.

Поскольку расчетное напряжение конденсаторного блока 4RB5250-5AB52 составляет $U_m = 525$ В, то на всех КТП SITRABLOC дополнительного дросселирования конденсаторных блоков не требуется.

8 Экономическая эффективность работы

8.1 Исходные данные для расчета экономической эффективности работы

8.1.1 Экономические показатели ЗАО «ГМ-АВТОВАЗ»

Экономические показатели ЗАО «ГМ-АВТОВАЗ»:

- чистая прибыль предприятия ЗАО «ГМ-АВТОВАЗ» на данный момент составляет 3 000 000 000 рублей в год, рентабельность - 185%.

- количество выпускаемых предприятием ЗАО «ГМ-АВТОВАЗ» окрашенных кузовов составляет 50 000 ед. в год;

- планируемое количество выпускаемых предприятием ЗАО «ГМ-АВТОВАЗ» автомобилей составляет 50 000 ед. в год;

- расчетная запланированная стоимость комплектующих и материалов на один выпущенный автомобиль = 100 000 рублей;

- планируемая выручка предприятия ЗАО «ГМ-АВТОВАЗ», получаемая от продажи продукции (полностью укомплектованный автомобиль «Шевролет-Нива») после введения в действие корпусов Т60 и Т2 составит 350 000 рублей/автомобиль (включая НДС);

- запланированные расходы на услуги сторонних организаций = 20 000 000 рублей в год.

8.1.2 Физические и финансовые характеристики проектируемого объекта

Основные физические характеристики проектируемого объекта необходимые для экономического расчета:

- общая площадь производственного корпуса Т60 = 3528 м²;

- общая площадь административного корпуса Т2 = 756 м²;

- высота здания корпусов Т60 и Т2 = 7,5 м;

- расчетная максимальная потребляемая электрическая мощность корпусов Т60 и Т2, компенсированная = 3500 кВт;
- расчетная максимальная потребляемая электрическая мощность корпусов Т60 и Т2, некомпенсированная = 3730 кВт;
- планируемое потребление отопления с учетом системы вентиляции и кондиционирования в корпусе Т60 в отопительный сезон при наружной температуре = -30 °С и внутренняя температура = +25 °С составит 0,06 Гкал/м² в месяц;
- планируемое потребление отопления с учетом системы вентиляции и кондиционирования в корпусе Т2 в отопительный сезон при наружной температуре = -30 °С и внутренняя температура = +25 °С составит 0,02 Гкал/м² в месяц;
- планируемое круглогодичное потребление горячего водоснабжения корпусов Т60 и Т2 = 36 000 м³/год с учетом производственных нужд и численности работников в 1000 человек;
- планируемое круглогодичное потребление холодного водоснабжения корпусов Т60 и Т2 = 60 000 м³/год с учетом производственных нужд и численности работников в 1000 человек;
- планируемое круглогодичное водоотведение корпусов Т60 и Т2 = 96 000 м³/год.

Данные о стоимости энергоресурсов:

- основная ставка за потребление электроэнергии = 800 рублей/ кВт в год;
- дополнительная ставка за потребление электроэнергии = 0,35 рублей/кВт-час;
- стоимость присоединения к электросетям = 18 000 рублей за 1 кВт заявленной мощности;
- круглогодичная стоимость холодного водоснабжения = 12 рублей/м³;
- круглогодичная стоимость горячего водоснабжения = 60 рублей/м³;
- круглогодичная стоимость водоотведения = 9 рублей/м³;

- стоимость 1 Гкал отопления = 500 рублей/месяц;
- отопительный сезон составляет 5 месяцев в году;

Данные по оборудованию и строениям:

- расчетные затраты на технологическое и другое оборудование корпусов Т60 и Т2, включая монтаж и транспортировку = 3 200 000 000 рублей;

- расчетные затраты на строительство корпусов Т60 и Т2 = 337 000 000 рублей;

- средневзвешенный полезный срок использования всего оборудования = 10 лет;

- полезный срок использования здания корпусов Т60 и Т2 = 75 лет;

- планируется амортизацию основных производственных фондов проводить линейным методом;

- отчисления в ремонтный фонд для оборудования = 2,9%;

- отчисления в ремонтный фонд для зданий = 1,5%;

- число рабочих часов всего оборудования (2 смены по 8 часов) рабочий день = 3972 ч/год;

- число рабочих часов части оборудования (в ночные часы и в выходные дни - работа ремонтных бригад) = 4788 ч/год;

- электрическая потребляемая мощность в выходные дни и в ночные часы составляет 10% от основного потребления всего оборудования в рабочие часы;

Запланированное количество работников, размер заработной платы и стоимость охраны труда:

- запланированная средневзвешенная зарплата работников ЗАО «ГМ-АВТОВАЗ», включая социальный налог и дополнительные выплаты составит 28000 рублей/месяц;

- запланированная численность работников корпусов Т60 и Т2 = 1000 человек;

- запланированные расходы на охрану труда и технику безопасности = 10 000 000 рублей в год.

Дополнительные инвестиционные затраты:

- затраты на интеллектуальную собственность планируются примерно 1 200 000 000 рублей;

- прочие затраты = 200 000 000 рублей;

8.2 Расчет суммы основных инвестиционных затрат

Основные инвестиционные затраты находятся [14]:

$$O_{\text{сн.и.з.}} = Z_{\text{об.}} + Z_{\text{стр.}} + Z_{\text{пр.сет.}} + Z_{\text{и}} + Z_{\text{пр.}} \quad 8.1)$$

где $O_{\text{сн.и.з.}}$ - основные инвестиционные затраты;

$Z_{\text{об.}}$ - затраты на технологическое и другое оборудование;

$Z_{\text{стр.}}$ - затраты на строительство;

$Z_{\text{пр.сет.}}$ - затраты на присоединение к электросети;

$Z_{\text{и}}$ - затраты на интеллектуальную собственность;

$Z_{\text{пр.}}$ - прочие затраты.

Найдем вначале стоимость присоединения к электросетям при заявленной мощности:

$$Z_{\text{пр.сет.}} = C_{\text{пр.сет.}} \cdot S_{\text{max}}, \quad 8.2)$$

где $Z_{\text{пр.сет.}}$ - затраты на присоединение к электросети;

$C_{\text{пр.сет.}}$ - цена за 1 кВт заявленной (максимальной) мощности;

S_{max} - заявленная (максимальная потребная) мощность.

8.2.1 Расчет суммы основных инвестиционных затрат, вариант А

Коэффициент мощности $\cos\phi = 0,92$, заявленная мощность 3500 кВт.

$$Z_{\text{пр.сет.1}} = 18\,000 \cdot 3\,500 = 63\,000\,000 \text{ рублей};$$

Найдем основные инвестиционные затраты

$$O_{\text{сн.и.з.}} = Z_{\text{об.}} + Z_{\text{стр.}} + Z_{\text{пр.сет.}} + Z_{\text{и}} + Z_{\text{пр.}} \quad 8.3)$$

$$O_{\text{сн.и.з.1}} = 3\,200\,000\,000 + 337\,000\,000 + 63\,000\,000 + 1\,200\,000\,000 + 200\,000\,000 = 5\,000\,000\,000 \text{ рублей.}$$

8.2.2 Расчет суммы основных инвестиционных затрат, вариант Б

Коэффициент мощности $\cos\varphi = 0,853$ – компенсация реактивной мощности не выполнена, заявленная мощность 3730 кВт.

$$Z_{\text{пр.сет.2}} = 18\,000 \cdot 3\,730 = 67\,140\,000 \text{ рублей};$$

Найдем основные инвестиционные затраты:

$$O_{\text{сн.и.з.}} = Z_{\text{об.}} + Z_{\text{стр.}} + Z_{\text{пр.сет.}} + Z_{\text{и}} + Z_{\text{пр.}} \quad 8.4)$$

$$O_{\text{сн.и.з.2}} = 3\,200\,000\,000 + 337\,000\,000 + 67\,140\,000 + 1\,200\,000\,000 + 200\,000\,000 = 5\,004\,140\,000 \text{ рублей};$$

8.3 Расчет стоимости потребления электроэнергии в год

Так, как заявленная мощность объекта проектирования больше чем 750 кВА, то расчет стоимости электропотребления находим по двуставочному тарифу [14]. Формула расчета по двуставочному тарифу приведена ниже:

$$C_{\text{э/эсист}} = \alpha \cdot S_{\text{max}} + \beta \cdot W_{\text{э/эсист}} \text{ (руб./год)} \quad 8.5)$$

где $C_{э/эсист}$ - величина стоимости электроэнергии за год;

α - основная ставка двуставочного тарифа за 1 кВт/год договорной мощности, участвующей в максимуме нагрузке энергосистемы;

β - дополнительная ставка двуставочного тарифа за каждый кВт · ч;

S_{max} - расчетная максимальная нагрузка, кВт;

$W_{э/сист}$ - расчетная величина энергии, полученной из системы, кВт · ч;

Вариант А (коэффициент мощности $\cos\varphi = 0,92$, заявленная мощность 3500 кВт).

Найдем вначале стоимость электропотребления для всего оборудования, запланированная работа которого, исходя из исходных данных, приведенных в пункте 8.1, составит 3972 часа в год:

$C_{э/эсист 1.1} = 800 \cdot 3\,500 + 0,35 \cdot 13\,902\,000 = 2\,800\,000 + 4\,865\,700 = 7\,665\,700$
руб./год.

Найдем стоимость электропотребления для части оборудования, работающего в ночные часы и в выходные дни. Запланированное количество часов такого оборудования, исходя из исходных данных составляет 4788 часов в год:

$C_{э/эсист 1.2} = 800 \cdot 3\,500 + 0,35 \cdot 1\,675\,800 = 2\,800\,000 + 586\,530 = 3\,386\,530$
руб./год;

Найдем общую стоимость электропотребления за год:

$$C_{э/эсист} = C_{э/эсист1} + C_{э/эсист2}; \quad 8.6)$$

$C_{э/эсист1} = 7665700 + 3386530 = 11\,052\,230$ рублей/год.

Вариант Б (коэффициент мощности $\cos\varphi = 0,853$, заявленная мощность 3730 кВт).

Найдем вначале стоимость электропотребления для всего оборудования, запланированная работа которого, исходя из исходных данных, приведенных в пункте 8.1, составит 3972 часа в год:

$$C_{\text{э/эсис}2.1} = 800 \cdot 3\,730 + 0,35 \cdot 14\,815\,560 = 2\,984\,000 + 5\,185\,446 = 8\,169\,446 \text{ руб./год.}$$

Найдем стоимость электропотребления для части оборудования, работающего в ночные часы и в выходные дни. Запланированное количество часов такого оборудования, исходя из исходных данных составляет 4788 часов в год:

$$C_{\text{э/эсис}2.2} = 800 \cdot 3\,730 + 0,35 \cdot 1\,785\,924 = 2\,984\,000 + 625\,073 = 3\,609\,073 \text{ руб./год;}$$

Найдем общую стоимость электропотребления за год:

$$C_{\text{э/эсис}2} = 8\,169\,446 + 3\,609\,073 = 11\,778\,519 \text{ руб./год.}$$

$$C_{\text{э/эсис}2} - C_{\text{э/эсис}1} = 11\,778\,519 - 11\,052\,230 = 726\,289 \text{ руб./год.}$$

8.4 Расчет годовой стоимости потребления холодного и горячего водоснабжения, годовой стоимости отопления

Найдем годовую стоимость потребления холодной воды, исходные данные для расчета приведены в пункте 8.1:

$$C_x = C_{\text{хм}^3} \cdot K_{\text{п.х.}} \text{ (руб./год),} \tag{8.7)}$$

где C_x - годовая стоимость потребления холодной воды;

$C_{\text{хм}^3}$ - стоимость одного кубометра холодной воды;

$K_{\text{п.х.}}$ - количество потребляемой холодной воды в год (м³);

$$C_x = 12 \cdot 60000 = 720\,000 \text{ руб./год.}$$

Найдем годовую стоимость потребления горячей воды, исходные данные для расчета приведены в пункте 8.1:

$$C_x = C_{\text{ГМ}^3} \cdot K_{\text{п.г.}} \text{ (руб./год)}, \quad (8.8)$$

где $C_{\text{Г}}$ - годовая стоимость потребления горячей воды;

$C_{\text{ГМ}^3}$ - стоимость одного кубометра горячей воды;

$K_{\text{п.г.}}$ - количество потребляемой горячей воды в год (м^3).

$$C_{\text{Г}} = 60 \cdot 36000 = 2\,160\,000 \text{ руб./год.}$$

Найдем годовую стоимость водоотведения, исходные данные для расчета приведены в пункте 8.1:

$$C_{\text{ВО}} = C_{\text{ВОМ}^3} \cdot K_{\text{ВО}} \text{ (руб./год)}, \quad (8.9)$$

где $C_{\text{ВО}}$ - годовая стоимость водоотведения;

$C_{\text{ВОМ}^3}$ - стоимость одного кубометра водоотведения;

$K_{\text{ВО}}$ - количество водоотведения в год (м^3);

$$C_{\text{ВО}} = 9 \cdot 96000 = 864\,000 \text{ руб./год.}$$

Найдем годовую стоимость отопления для корпуса Т60, с учетом того, что отопительный сезон составляет 5 месяцев в году, другие данные для расчета приведены в пункте 8.1:

$$C_{\text{отТ60}} = C_{\text{ГК}} \cdot K_{\text{поТ60м}^2} \cdot S_{\text{отТ60}} \cdot K_{\text{ом}} \text{ (руб./год)} \quad (8.10)$$

где $C_{\text{отТ60}}$ - годовая стоимость отопления корпуса Т60;

$C_{\text{ГК}}$ - стоимость 1 Гкал отопления в месяц;

$K_{\text{поТ60м}^2}$ - количество потребления энергии отопления на 1 м^2 (Гкал);

$S_{от60}$ - площадь отапливаемого помещений корпуса Т60 (m^2);

$K_{ом}$ - продолжительность отопительного сезона (месяцев).

$$C_{от60} = 500 \cdot 0,06 \cdot 3528 \cdot 5 = 529\,200 \text{ руб./год.}$$

Найдем годовую стоимость отопления для корпуса Т2, с учетом того, что отопительный сезон составляет 5 месяцев в году, другие данные для расчета приведены в пункте 8.1:

$$C_{от2} = C_{гк} \cdot K_{пот2м^2} \cdot S_{от2} \cdot K_{ом} \text{ (руб./год)} \quad (8.11)$$

где $C_{от2}$ - годовая стоимость отопления корпуса;

$C_{гк}$ - стоимость 1 Гкал отопления в месяц;

$K_{пот2м^2}$ - количество потребления энергии отопления на 1 m^2 (Гкал);

$S_{от2}$ - площадь отапливаемого помещений корпуса (m^2);

$K_{ом}$ - продолжительность отопительного сезона (месяцев).

$$C_{от2} = 500 \cdot 0,02 \cdot 756 \cdot 5 = 37\,800 \text{ руб./год.}$$

Найдем годовую стоимость потребления холодного и горячего водоснабжения, годовой стоимости отопления корпусов Т60 и Т2:

$$C_{гхо} = C_x + C_{г} + C_{во} + C_{от60} + C_{от2} \text{ (руб./год);} \quad (8.12)$$

$C_{гхо} = 720\,000 + 2\,160\,000 + 864\,000 + 529\,000 + 37\,800 = 4\,311\,000$ рублей в год.

8.5 Расчет годовых расходов на оплату труда, социальные отчисления

Из исходных данных приведенных в пункте 8.1 средневзвешенная зарплата, включая социальные отчисления составляет 28 000 рублей в месяц. Найдем годовой расход на оплату труда и социальные отчисления:

$$P_{зп} = Z_{срвз} \cdot K_p \cdot K_m \text{ (руб./ год)}, \quad (8.13)$$

где $P_{зп}$ - годовые расходы на оплату труда и социальные отчисления;

$Z_{срвз}$ - средневзвешенная зарплата, включая социальные отчисления одного работника;

K_p - запланированное количество работников;

K_m - количество оплачиваемых работникам месяцев.

$$P_{зп} = 28\,000 \cdot 1000 \cdot 12 = 336\,000\,000 \text{ рублей в год}$$

8.6 Расчет затрат

Найдем амортизационные отчисления для здания, в котором расположены сборочный цех Т60 и административный корпус Т2, исходные данные представлены в пункте 8.1 [14]:

$$A = \frac{C_б}{T_c}, \quad (8.14)$$

где A - годовые амортизационные отчисления;

$C_б$ - первоначальная (балансовая) стоимость объекта;

T_c - срок службы объекта.

$$A_1 = \frac{400\,000\,000}{75} = 5\,333\,333 \text{ руб. в год.}$$

Найдем амортизационные отчисления для всего оборудования корпусов Т60 и Т2, исходные данные представлены в пункте 81, расчет производим по формуле (8.14):

$$A_2 = \frac{3\,200\,000\,000}{20} = 160\,000\,000 \text{ руб. в год.}$$

Найдем сумму амортизационных отчислений:

$$A = A_1 + A_2 \quad (8.15)$$

$$A = 5\,333\,333 + 160\,000\,000 = 165\,333\,333 \text{ руб. в год.}$$

Найдем годовые отчисления в ремонтный фонд для здания, в котором расположен сборочный цех Т60 и административный корпус Т2:

$$P_{\phi} = C_{\phi} \cdot K_{\text{рф}} \quad (8.16)$$

где P_{ϕ} - годовые отчисления в ремонтный фонд;

C_{ϕ} - первоначальная (балансовая) стоимость объекта;

$K_{\text{рф}}$ - коэффициент отчислений в ремонтный фонд для объекта;

$$P_{\phi 1} = 400\,000\,000 \cdot 0,015 = 6\,000\,000 \text{ руб./год.}$$

Найдем годовые отчисления в ремонтный фонд для оборудования, корпусов Т60 и Т2, расчет производим по формуле (8.16):

$$P_{\phi 2} = 3\,200\,000\,000 \cdot 0,029 = 928\,000\,000 \text{ руб./год;}$$

Найдем сумму отчислений в ремонтный фонд:

$$P_{\phi} = P_{\phi 1} + P_{\phi 2} \quad (8.17)$$

$$P_{\phi} = 6\,000\,000 + 928\,000\,000 = 934\,000\,000 \text{ руб. в год.}$$

Исходя из исходных данных, представленных в пункте 8.1, найдем годовые затраты на комплектующие и материалы:

$$Z_k = K_a \cdot Z_a \text{ (руб./год),}$$

где K_a - количество автомобилей;

Z_a - затраты на комплектующие и материалы для одного автомобиля;

$$Z_k = 50\,000 \cdot 100\,000 = 5\,000\,000\,000 \text{ руб. в год.}$$

8.7 Годовая смета затрат

Исходя из исходных данных и полученных данных при расчете составим годовую смету затрат на производство.

Таблица 8.1 - Смета годовых производственных затрат

№ п/п	Затраты на производство	Сумма (руб.)	
		Вариант А	Вариант Б
1	Комплектующие и материалы	5 000 000 000	5 000 000 000
2	Отчисления в ремонтный фонд	934 000 000	934 000 000
3	Амортизационные отчисления	165 333 333	165 333 333
4	Оплата труда и социальные	336 000 000	336 000 000
5	Х. и Г. водоснабжение	4 311 000	4 311 000
6	Электропотребление	11 052 230	11 778 519

Продолжение таблицы 7.1

№ п/п	Затраты на производство	Вариант А	Вариант В
7	Охрана труда и техника безопасности	10 000 000	10 000 000
8	Услуги сторонних организаций	20 000 000	20 000 000
	Итого:	6 360 696 563	6 361 422 852

8.8 Расчет годовой прибыли предприятия

Годовая прибыль предприятия находится путем вычета из полученной годовой выручки предприятия всех годовых затрат (таблица 8.1).

Годовая выручка предприятия:

$$V_{\Pi} = K_a \cdot C_a, \quad (8.18)$$

где K_a - количество выпускаемых автомобилей в год;

C_a - выручка с одного проданного автомобиля, включая НДС;

$V_{\Pi} = 50\,000 \cdot 350\,000 = 17\,500\,000\,000$ рублей в год.

Найдем балансовую прибыль предприятия за год

$$P_{\text{б}} = V_{\Pi} - Z_{\text{г}}, \quad (8.19)$$

где V_{Π} - годовая выручка;

$Z_{\text{г}}$ - годовые затраты.

Вариант А

$P_{\text{б1}} = 17\,500\,000\,000 - 6\,360\,696\,563 = 11\,139\,303\,437$ рублей в год;

Вариант Б

$P_{\text{б2}} = 17\,500\,000\,000 - 6\,361\,422\,852 = 11\,138\,577\,148$ рублей в год;

8.9 Расчет чистой прибыли и рентабельности предприятия

При нахождении чистой прибыли, не учитываем дополнительные расходы предприятия, так на стадии проекта таких расходов нет:

$$P_{\text{ч}} = P_{\text{б}} - N_{\text{п}}, \quad (8.20)$$

где $N_{\text{п}}$ - налог на прибыль;

Вариант А

$P_{\text{ч1}} = 11\,139\,303\,437 - 20\% = 8\,911\,442\,750$ руб. в год;

Вариант Б

$P_{\text{ч2}} = 11\,138\,577\,148 - 20\% = 8\,910\,861\,718$ руб. в год;

Найдем рентабельность нового производства

$$P_{\Pi} = \frac{\Pi_{ч}}{З_{г}} \cdot 100\%, \quad (8.21)$$

где $З_{г}$ - годовые затраты на производство;

Вариант А

$$P_{\Pi} = \frac{8\,911\,422\,750}{6\,360\,422\,852} \cdot 100\% = 140,10 \%$$

Вариант Б

$$P_{\Pi} = \frac{8\,910\,861\,718}{6\,361\,422\,852} \cdot 100\% = 140,07 \%$$

Полученные результаты показывают, что новое производство рентабельно, то есть не убыточно.

Сравнение двух вариантов по показателю чистой прибыли:

$$\Pi_{ч1} - \Pi_{ч2} = 8\,911\,442\,750 - 8\,910\,861\,718 = \underline{581\,032 \text{ рублей}}$$

8.10 Расчет полных инвестиционных затрат и срока окупаемости

Рассчитаем полную сумму инвестиций в проект, с учетом годовых затрат на производство в первый год и основных инвестиционных затрат.

$$И_{з} = O_{\text{сн.и.з.}} + З_{г}, \quad (8.22)$$

где $O_{\text{сн.и.з.}}$ - основные инвестиционные затраты на производство;

$З_{г}$ - затраты на производство в первый год;

Вариант А

$$И_{з1} = 5\,000\,000\,000 + 6\,360\,696\,563 = 11\,360\,696\,563 \text{ руб.}$$

Вариант Б

$$И_{з2} = 5\,004\,140\,000 + 6\,361\,422\,852 = 11\,365\,562\,852 \text{ руб.}$$

8.11 Расчет срока окупаемости

Срок окупаемости проекта:

$$T_{\text{ок}} = \frac{I_3}{P_{\text{ч}}}$$

(
8.23)

Вариант А

$$T_{\text{ок1}} = \frac{11\,360\,696\,563}{8\,911\,442\,750} = 1,27 \text{ лет.}$$

Вариант Б

$$T_{\text{ок2}} = \frac{11\,365\,562\,852}{8\,910\,861\,718} = 1,27 \text{ лет.}$$

Таким образом, полные инвестиции за первый год работы предприятия с новыми корпусами составят 11 360 696 563 руб. Хотя рентабельность всего производства на ЗАО «GM-АВТОВАЗ» снизится с 185% до 140%, но увеличится чистая прибыль с 3 000 000 000 руб. в год до 8 911 442 750 руб.

По расчетам в ВКР выяснилось, что срок окупаемости составит не больше 2 лет.

Рассмотрение двух вариантов электроснабжения показало, что при компенсации реактивной мощности: незначительно возрастет годовая чистая прибыль на 582 032 руб./год в натуральном эквиваленте; срок окупаемости не изменится; полные инвестиционные затраты составят на 4 866 289 руб. меньше, что уже значительно; на 726 289 руб./год уменьшатся затраты на электроэнергию.

Заключение

В работе рассмотрены следующие вопросы:

- анализ объекта проектирования – системы электроснабжения корпусов Т60 и Т2 ЗАО «GM-АВТОВАЗ»;
- выбор трансформаторов GEAFOL 1250 кВА для комплектных трансформаторных подстанций с учетом рассчитанных электрических нагрузок;
- выбор и проверка шинпроводов в сети 0,4 кВ корпуса Т60 по токам коротких замыканий и условиям потерь напряжений;
- расчет нормальных и аварийных режимов работы, как при отказе трансформаторов, так и при коротких замыканиях в сети;
- выбор релейной защиты электрической сети.

При выполнении расчетов было доказано, что устанавливаемое электрооборудование 10 кВ и 0,4 кВ отвечает всем требованиям потребителей по мощности и безопасности [3,5,6]. При введении проекта в действие, срок окупаемости составит менее двух лет.

Рассмотрение двух вариантов электроснабжения показало, что при компенсации реактивной мощности: незначительно возрастет годовая чистая прибыль на 582 032 руб./год в натуральном эквиваленте; срок окупаемости не изменится; полные инвестиционные затраты составят на 4 866 289 руб. меньше, что уже значительно; на 726 289 руб./год уменьшатся затраты на электроэнергию.

Список используемых источников

1. Правила устройств электроустановок (ПУЭ). 7-е изд. с изм. и доп. М.: НЦ ЭНАС, 2009.
2. ГОСТ 12.1.030-2001 Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление: введ. 2001-01-08. М.: Стандартиформ, 2001.
3. ГОСТ 12.0.230.2-2015. Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда в организациях. Оценка соответствия. Требования: введ. 2017-01-03. М.: Стандартиформ, 2016.
4. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. М.: НЦ ЭНАС, 2004.
5. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. Приложение к приказу Министерства труда и социальной защиты от 24 июля 2013 г. № 328н.
6. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок в вопросах и ответах : учебн.- практ. пособие. М. : КНОРУС, 2012.
7. Алиев И.И. Электротехнические материалы и кабельные изделия: справочник. М.: ИП РадиоСОФТ, 2014.
8. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий: учебно-методическое пособие для практических занятий. Тольятти : ТГУ, 2015.
9. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов : учебно-методическое пособие для практических занятий и курсового проектирования. Тольятти : ТГУ, 2015.
10. Киреева Э.А. Электрооборудование электрических станции и подстанций. М.: КНОРУС, 2017.
11. Конюхова Е.А. Электроснабжение : учебник для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2014.

12. Киреева Э.А. Полный справочник по электрооборудованию систем электроснабжения (с примерами расчетов) : справочное издание / Под общ. ред. С.Н. Шерстнева. М.: КНОРУС, 2017.
13. Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К., Чиркова Т.В. Электрооборудование электрических станций и подстанций. М.: Изд. центр «Академия», 2014.
14. Самсонов В.С., Вяткин М.А. Экономика предприятий энергетического комплекса. М.: Высш. шк., 2015.
15. Справочник по энергосбережению и электрооборудованию / Под общ. ред. С.И. Гамазина, Б.И. Кудрина, С.А. Цырука. М.: Изд. дом МЭИ, 2014.
16. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование систем электроснабжения: методическое пособие для курсового проектирования. М.: Форум, 2015.
17. Программный комплекс SINCAL [Электронный ресурс]. URL: <https://www.smart-grid.siemens.ru> (дата обращения 14.05.18).
18. Каталог кабельной продукции фирмы «Сименс» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.low-medium-voltat.siemens.com/product/kabel/> (1 дата обращения 15.05.18).
19. Каталог трансформаторов GEAFOL фирмы «Сименс» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.low-medium-voltagt.siemens.com/product/mv/geafol/> (дата обращения 15.05.18).
20. Каталог продукции многоамперных шин фирмы «Сименс» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.low-medium-voltagt.siemens.com/product/mv/sentrontm/> (дата обращения 15.05.18).
21. Power Engineering Guide 10th Edition (Siemens). Руководство для энергетиков. 10-е издание. Эрланген, Германия: Изд-во Public Pro, 2016.

Приложение А

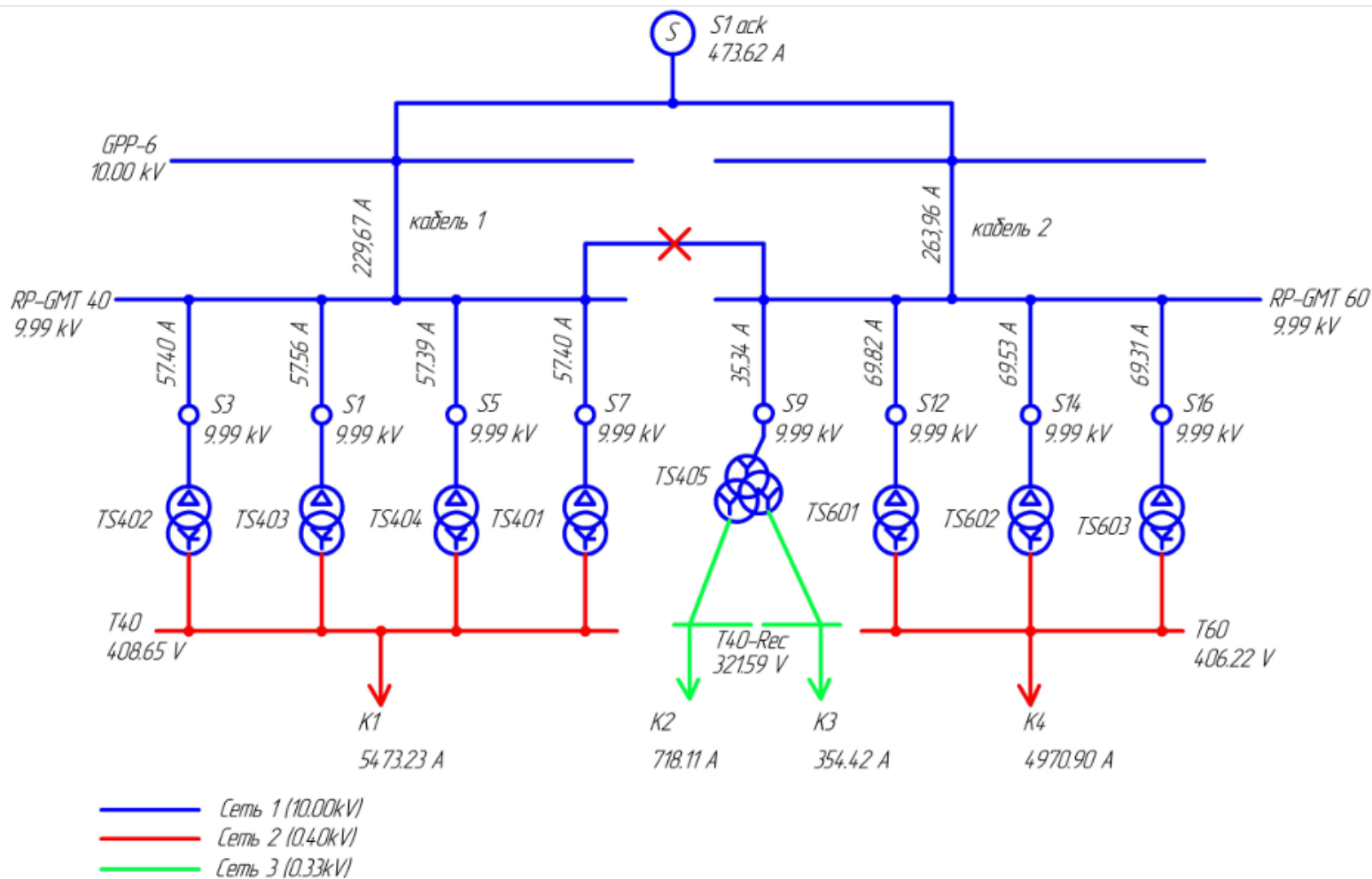


Рисунок А1 – Расчет потоков нагрузки в сети на 10 кВ ЗРУ RP-GM (нормальный режим)

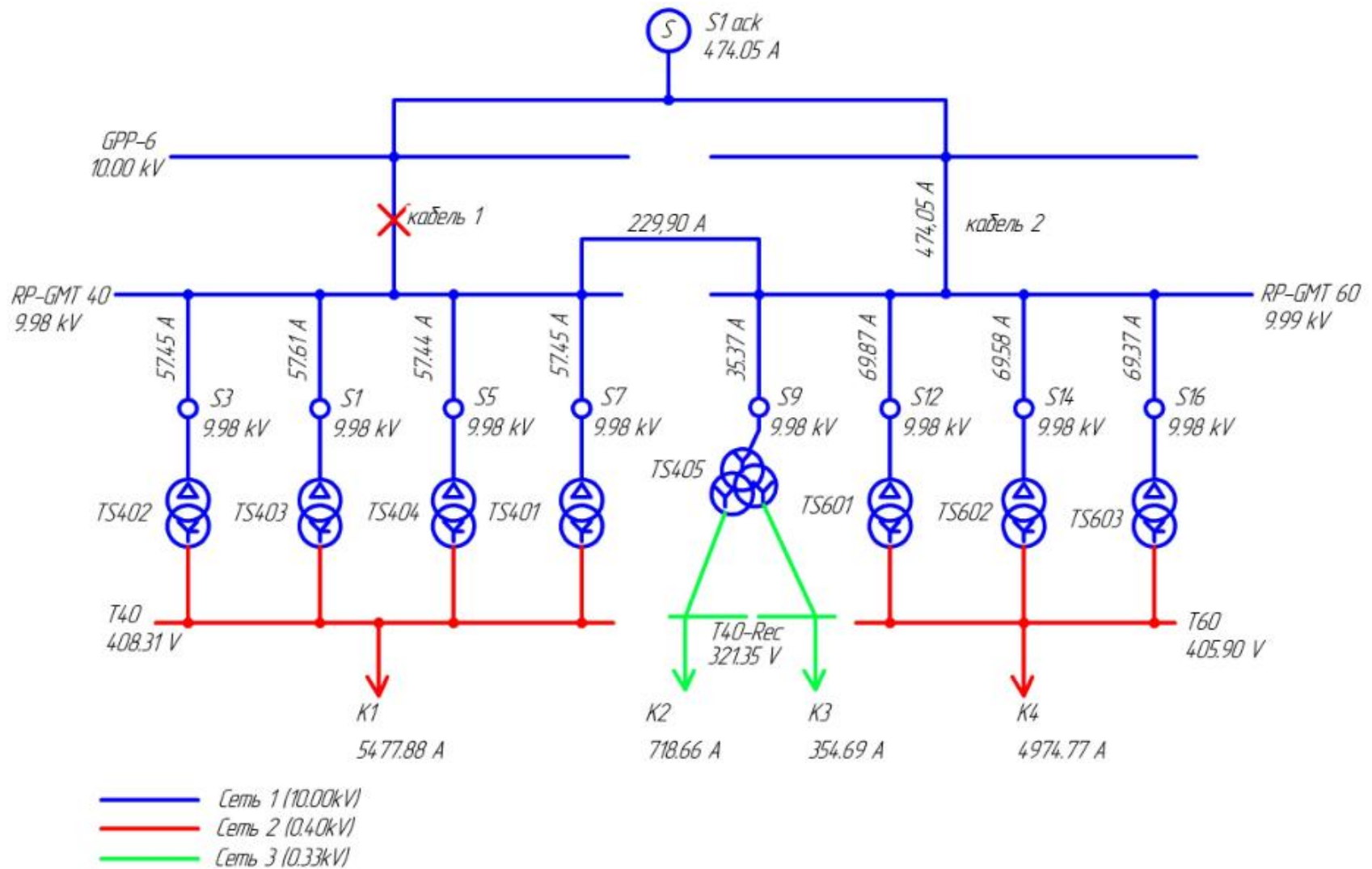


Рисунок А2 – Расчет потоков нагрузки на ЗРУ RP-GM (отказ питающего кабеля 1)

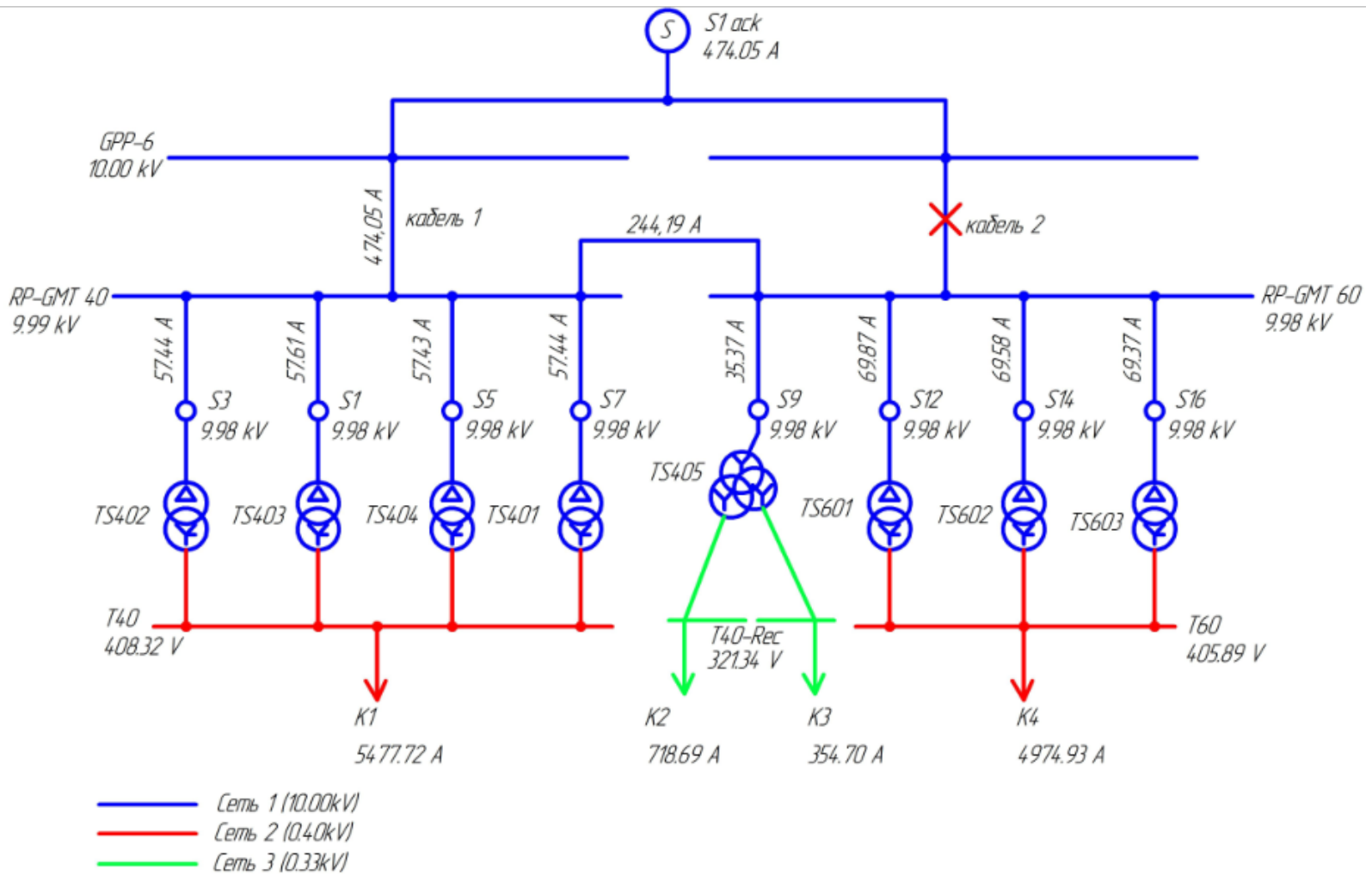


Рисунок А3 – Расчет потоков нагрузки в сети на 10 кВ ЗРУ RP-GM (отказ питающего кабеля 2)

Приложение Б

Таблица Б1 – Проверка условия нагрузки в нормальном режиме для трансформаторов GEAFOL 1250 кВА, установленных в цехе Т60

Нормальный режим (NB) с n трансформаторами		Допустимая способность трансформаторов выдерживать токовую нагрузку в нормальном режиме $I_{T_{zul-NB}}$ [A]	Вычисленные в программном комплексе SINCAL нагрузочные токи трансформаторов в нормальном режиме I_{T-NB} [A]	Нагрузка в нормальном режиме a_{T-NB} [%]	Условие нагрузки в нормальном режиме $I_{T_{zul-NB}} > I_{T-NB}$ [A]
Сеть на 0,4 кВ сборочного цеха Т60 с n=3 параллельно питающими компаундовыми трансформаторами GEAFOL 1250 кВА	TS601	1804,2	1611.0	89.3	выполнено: 1804.2 > 1611.0
	TS602		1514.0	83.9	выполнено: 1804.2 > 1514.0
	TS603		1654.4	91.7	выполнено: 1804.2 > 1654.0
1) Вентиляторы подстанций SITRABLOC в нормальном режиме должны оставаться выключенными ($I_{T_{zul-NB}} = I_{T-AN} = I_{rT} = \frac{S_{rT}}{3 \cdot U_{rT}}$). 2) $a_{T-NB} = \frac{I_{T-NB}}{I_{T_{zul-NB}}} \cdot 100$.					

Таблица Б2 – Проверка условия нагрузки в аварийном режиме для трансформаторов GEAFOL 1250 кВА, установленных в сборочном цехе Т60

Аварийный режим (НВ) с n-1 трансформаторами		Допустимая способность трансформаторов выдерживать токовую нагрузку в нормальном режиме $I_{T_{zul-HB}}$ [А]	Вычисленные в программном комплексе SINCAL нагрузочные токи трансформаторов в нормальном режиме I_{T-HB} [А]	Нагрузка в нормальном режиме a_{T-NB} [%]	Условия нагрузки в аварийном режиме после отказа одного компаундового трансформатора GEAFOL 1250 кВА			
					Аварийный режим 5 (отказ TS601)	Аварийный режим 6 (отказ TS602)	Аварийный режим 7 (отказ TS603)	
					$I_{T_{zul-HB}} > I_{T-HB5}$ [А]	$I_{T_{zul-HB}} > I_{T-HB6}$ [А]	$I_{T_{zul-HB}} > I_{T-HB7}$ [А]	
Аварийный режим 5 (отказ TS601)	TS602	2525.9	2408.3	95.3	выполнено: 2525.9>2408.3	-	-	
	TS603		2489.3	98.6	выполнено: 2525.9>2489.3	-	-	
Аварийный режим 6 (отказ TS602)	TS601		2419.9	95.8	-	выполнено: 2525.9>2419.9	-	
	TS603		2430.5	96.2	-	выполнено: 2525.9>2430.5	-	
Аварийный режим 7 (отказ TS603)	TS601		2495.5	98.8	-	-	выполнено: 2525.9>2495.5	
	TS602		2425.4	96.0	-	-	выполнено: 2525.9>2425.4	
1) Вентиляторы подстанций SITRABLOC включаются в аварийном режиме $I_{T_{zul-HB}} = I_{T-AF} = \frac{1.4 \cdot S_{rT}}{3 \cdot U_{rT}}$. 2) $a_{T-NB} = \frac{I_{T-HB}}{I_{T_{zul-HB}}} \cdot 100$.								