

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 системы электроснабжения производства автомобильных комплектующих

Обучающийся

В.С. Долгих

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., А.Н. Черненко

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

Тольятти 2022

Аннотация

Бакалаврская работа выполнена на тему «Реконструкция системы электроснабжения производства автомобильных комплектующих».

В ходе выполнения работы были определены расчетные электрические нагрузки, определены параметры системы внутреннего освещения помещений.

Для ТП предприятия выбрано необходимое количество силовых трансформаторов и найдено значение номинальной мощности каждого трансформатора.

Предварительный выбор основного электрооборудования и проводников позволил получить исходные данные для расчета токов короткого замыкания на стойкость к которым и на коммутационную способность были проверены выбраны аппараты защиты. Для трансформаторной подстанции предприятия был выполнен расчет системы заземления.

Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки на 61 странице текста, дополненной 2 рисунками и 9 таблицами в которые сводились исходные данные и результаты расчетов и выбора электрооборудования. Записка дополнена графическим материалом, состоящим из 6 листов А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Краткая характеристика предприятия.....	5
2 Определение расчётных электрических нагрузок группы цехов.....	7
3 Определение параметров системы внутреннего освещения	12
4 Определение количества и номинальной мощности силовых трансформаторов на КТП.....	25
5 Выбор схемы внутреннего электроснабжения производства	29
6 Выбор электрических аппаратов и проводников.....	31
7 Определение токов КЗ	43
7.1 Определение параметров элементов схемы замещения	43
7.2 Определение значений токов КЗ в выбранных точках	48
7.3 Проверка коммутационных аппаратов	54
8 Определение параметров системы заземления КТП.....	56
Заключение	59
Список используемых источников.....	60

Введение

Электроэнергетике присущи определенные особенности, которыми не обладают другие отрасли промышленности:

- неделимость и одновременность производства, передачи и последующего потребления электрической энергии;
- высокая скорость протекания процессов как в нормальном режиме функционирования, так и в аварийном;
- зависимость от электроэнергетики остальных отраслей, и влияние электроприемников в этих отраслях друг на друга и на электроэнергосистему.

«Особенности электроэнергетики приводят к появлению ряда особенностей в системе электроснабжения промышленного предприятия (СЭС ПП):

- использование быстродействующих устройств, работающих в автоматическом режиме, способных реагировать на переходные процессы, происходящие в СЭС ПП;
- разнообразие технических решений по реализации СЭС ПП, вызванное особенностями технологических процессов на предприятиях;
- постоянное совершенствование технологического процесса и изменение состава электроприемников приводит к изменению конфигурации и состава СЭС ПП» [1-4].

Цель выпускной квалификационной работы заключается в создании надежной системы электроснабжения группы цехов предприятия по производству автомобильных комплектующих. Для достижения поставленной цели в работе производится решение ряда задач, к основным из которых относятся: определение расчетных электрических нагрузок; расчет электрического освещения корпусов; сравнение нескольких вариантов устройства КТП для электроснабжения цеховых потребителей и выбор оптимального; анализ вариантов реализации схемы внутреннего электроснабжения; расчет токов короткого замыкания и проверка аппаратов.

1 Краткая характеристика предприятия

Предприятие занимается производством выхлопных систем и их компонентов для автомобилей отечественного и импортного производства.

«Система выпуска двигателя автомобиля предназначена для отвода отработавших газов, снижения температуры и шума при их выбросе в атмосферу. В дополнительном и основном глушителях отработавшие газы проходят по системе отверстий и камер, в которых они остывают и теряют свою скорость, в результате шумность выхлопа снижается до нормативного уровня.

Для глушителей, выпускаемых предприятием, разработана оптимальная конструкция, которая обеспечивает нормативные показатели по шумности и минимальные по противодействию на двигатель. Конструкция протестирована на полигоне ведущего отечественного производителя автомобилей и рекомендована к применению на автомобилях в качестве запасных запчастей. Контрольные образцы продукции прошли испытания в Испытательном центре продукции автомобилестроения НАМИ. На основании протокола испытаний получен Сертификат соответствия Госстандарта России.

При производстве глушителей применяется передовая закатная технология на специализированной полуавтоматической закатной линии: корпус глушителя собирается методом продольной и поперечной закатки из качественной (ГОСТ 16523-97) листовой стали 08ПС толщиной не менее 1,2 мм без использования сварки» [5].

В ассортимент выпускаемого оборудования входят:

- глушители для ВАЗ, ГАЗ и автомобилей импортного производства;
- глушители дополнительные (резонаторы) ВАЗ;
- трубы приемные ВАЗ;
- глушители, резонаторы для иномарок;
- пламегасители универсальные;

- пламегасители коллекторные;
- стронгеры;
- расходные материалы для ремонта глушителя;
- универсальные элементы выхлопных систем и др.

К основному электрооборудованию относятся различные виды станков, сварочных установок, подъемно-транспортного электрооборудования, системы вентиляции и другие электроприемники (ЭП). Номинальная мощность отдельных ЭП варьируется от десятых долей кВт до 130 кВт у наиболее мощных электроприемников. Большинство ЭП работает в продолжительном режиме работы, меньшая – в повторно-кратковременном. Имеются установки, работающие как на трехфазном токе основной частоты, так и на однофазном токе основной частоты. Большая часть электроприемников относится ко второй и первой категориям по надежности электроснабжения, но есть и группа электроприемников, относящихся к первой категории к которым относятся установки аварийного освещения, системы дымоудаления и пожарные насосы.

Работа на предприятии ведется в три смены.

Группа цехов предприятия питается от 4 трансформаторных подстанций с напряжением ВН 10 кВ. Цеховые трансформаторные подстанции получают питание от центрального заводского распределительного пункта.

Вывод: в разделе приведена краткая характеристика предприятия.

2 Определение расчётных электрических нагрузок группы цехов

«Расчетные активная, реактивная и полная мощности единичного ЭП принимаются равными номинальным P_p Q_p S_p » [5, 6]:

$$P_p = P_n; \quad (1)$$

$$Q_p = Q_n = P_n \operatorname{tg} \varphi_n; \quad (2)$$

$$S_p = \frac{P_p}{\cos \varphi_n}, \quad (3)$$

где « P_p , Q_p , S_p — расчетные активная, реактивная, полная мощности ЭП соответственно;

P_n , Q_n , S_n — номинальные (установленные) активная, реактивная, полная мощности ЭП соответственно;

$\cos \varphi_n$, $\operatorname{tg} \varphi_n$ — номинальное значение коэффициента мощности и соответствующий ему коэффициент реактивной мощности ЭП» [6].

«Номинальная активная мощность ЭП — мощность, указанная в паспорте ЭП. Номинальная реактивная мощность ЭП — реактивная мощность, потребляемая из сети (знак плюс) или генерируемая в сеть (знак минус) при номинальной активной мощности и номинальном напряжении (для синхронных двигателей при номинальном токе возбуждения и $\cos \varphi_n$ принимается со знаком минус)» [7].

«Для большинства ЭП в паспорте указывается значение активной номинальной мощности, для сварочных и печных трансформаторов указывается значение полной мощности. Для синхронных и асинхронных электродвигателей задается номинальная мощность на валу двигателя. Мощность, потребляемая из сети P_d , определяется с учетом потерь мощности в электродвигателе» [6]:

$$P_d = \frac{P_n}{\eta},$$

где P_H — номинальная (паспортная) мощность двигателя;

η - коэффициент полезного действия двигателя. При определении расчетных электрических нагрузок пренебрегают, принимая $P_d = P_H$ » [6].

При расчете нагрузок все ЭП должны быть приведены к ПВ=100%.
Суммарная активная мощность каждой подгруппы ЭП находится:

$$P_H = P_{II} \cdot n \quad (4)$$

где P_{II} - паспортная мощность;

n - количество электроприемников.

Так, для сварочных машин:

$$P_H = 24 \cdot 4 = 96 \text{ кВт},$$

а для установок подзаряда:

$$P_H = 7,2 \cdot 14 = 100,8.$$

Значение коэффициента силовой сборки находим:

$$m = \frac{P_{H.МАКС}}{P_{H.МИН}} \quad (5)$$

где $P_{H.МАКС}$, $P_{H.МИН}$ - самая большая и самая маленькая мощности одного ЭП соответственно.

В зависимости от значения этого коэффициента выбирается расчетная формула для нахождения эффективного числа электроприемников в итоговой

строке по узлу нагрузки.

Для ШРА 4/4-1:

$$m = \frac{96}{1,1} \geq 3$$

Значение средней нагрузки за наиболее загруженную смену находим с при помощи коэффициентов использования K_H и мощности $tg\phi$:

$$P_C = K_H \cdot P_H \quad (6)$$

$$Q_C = P_C \cdot tg\phi \quad (7)$$

Для сварочных машин среднесменная нагрузка составит:

$$P_C = 0,2 \cdot 96 = 19,2 \text{ кВт},$$

$$Q_C = 19,2 \cdot 2,29 = 43,97 \text{ квар}.$$

После нахождения среднесменных нагрузок для каждой группы ЭП определяем итоговые значения по каждому узлу питания.

Значения среднего коэффициента использования и коэффициента мощности определяем, как:

$$K_{H.CP} = \frac{\sum P_C}{\sum P_{H.\Sigma}}, \quad (8)$$

где $\sum P_C$ - суммарное значение среднесменных мощностей по группам ЭП;

$\sum P_{H.\Sigma}$ - суммарное значение номинальных мощностей по группам ЭП;

$$K_{H.CP} = \frac{59,48}{229,2} \approx 0,26;$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{cp} = \frac{\sum Q_C}{\sum P_C}, \quad (9)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{cp} = \frac{99,64}{59,48} = 1,68 \Rightarrow \cos \varphi_{cp} = 0,51$$

При значении коэффициента $m > 3$ и $K_{H.CP} \geq 0,2$ эффективное число ЭП находим по формуле:

$$n_{\text{Э}} = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n P_{Hi}}{P_{H.MAKC}}, \quad (10)$$

$$n_{\text{Э}} = \frac{2 \cdot 229,2}{96} \approx 5 \text{ шт.}$$

По справочному пособию найдем значение коэффициента максимума:

$$K_M = 1,0$$

Найдем расчётную активную нагрузку [8, 9]:

$$P_P = K_M \cdot P_C, \quad (11)$$

$$P_P = 1,0 \cdot 59,48 = 59,48 \text{ кВт.}$$

Расчётная реактивная нагрузка определяется в зависимости от числа эффективных электроприемников:

$$Q_P = 1,1 \cdot 99,65 = 109,6 \text{ квар.}$$

Найдем значение полной расчётной нагрузки:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2}, \quad (12)$$

$$S_P = \sqrt{59,48^2 + 109,6^2} = 124,71 \text{ кВА.}$$

Расчётный ток для электроприёмников рассматриваемого узла находим через величину номинального напряжения питания:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (13)$$

где U_H - номинальное напряжение сети;

$$I_P = \frac{124,71}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 189,47 \text{ А.}$$

Таким же образом определим значения расчетных нагрузок по каждому узлу питания. После суммирования итоговых расчетных данных получим значение нагрузки в целом по трансформаторной подстанции:

$$P_{P\Sigma} = 1821,69 \text{ кВт,}$$

$$Q_{P\Sigma} = 2155,9 \text{ квар,}$$

$$S_{P\Sigma} = 3073,60 \text{ кВА,}$$

$$I_{P\Sigma} = 4669,86 \text{ А.}$$

Вывод: определены значения нагрузок в целом по трансформаторной подстанции.

3 Определение параметров системы внутреннего освещения

В соответствии с [1] питание осветительных сетей должно выполняться от сети напряжением 380/220 В с системой заземления TN-S или TN-C-S. Источником питания осветительной сетей внутреннего освещения служат: на промышленных предприятиях – шины РУ 0,4 кВ цеховых ТП, головные участки магистральных шинопроводов; в схемах общественных, административных и других зданий – шины вводно-распределительных устройств или других НКУ [10, 11].

Сети наружного освещения выполняются с системой заземления TN-C, подключаются к шинам РУ 0,4 кВ ТП.

Электрические сети освещения в соответствии с [12] подразделяются на питающую, распределительную и групповую.

Питающая осветительная сеть – сеть от РУ 0,4 кВ ТП до вводного устройства, вводно-распределительного устройства или главного распределительного щита. Распределительная сеть – сеть от ВУ, ВРУ, ГРЩ до распределительных пунктов, щитков и пунктов питания наружного освещения. Групповая сеть – сеть от распределительных пунктов, щитков до светильников, штепсельных розеток и других ЭП.

«Для питания рабочего и аварийного освещения используются независимые источники питания (от разных трансформаторов двухтрансформаторных подстанций, от разных подстанций в предположении что эти источники являются независимыми). Для аварийного освещения предусматривается дополнительный источник питания, в качестве которого можно использовать светильники аварийного освещения с блоками бесперебойного питания.

С первой секции шин 0,4 кВ двухтрансформаторной подстанции получает питание щит рабочего освещения. Для щита рабочего освещения применяются, как правило, распределительные шкафы с номинальным током до 630 А с автоматическими выключателями или плавкими

предохранителями. От щита освещения по магистральной и радиальной схемам получают питание групповые щитки рабочего освещения с номинальным током до 50-100 А. Аварийное освещение должно получать питание от независимого источника питания. На схеме щиток аварийного освещения подключен через распределительный шкаф по II секции шин 0,4 кВ ТП.

Если количество групповых щитков рабочего освещения невелико и возможно подключение их к одной линии, то в схеме может отсутствовать щит рабочего освещения. В этом случае уменьшается число ступеней распределения электрической энергии, и схема упрощается.

Питающая и распределительная сети внутреннего освещения могут выполняться четырехпроводными с проводниками L1, L2, L3, PEN или пятипроводными с проводниками L1, L2, L3, N, PE» [13].

Расчет системы освещения выполняется по методу коэффициента использования светового потока.

Сперва определяется площадь каждого из помещений:

$$S = a \cdot b, \quad (14)$$

где a - длина помещения;

b - ширина помещения.

Исходя из данных о загрязненности помещения принимаем значение коэффициента запаса равное 2.

По материалам, из которых изготовлены потолок, стены и пол помещения принимаем коэффициенты отражения 80 %, 47 %, 27 % соответственно.

Число светильников в помещении определяем по формуле [13]:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_{\text{л}}}, \quad (15)$$

где « E - требуемая горизонтальная освещённость;

S - площадь цеха;

K_3 - коэффициент запаса;

η - коэффициент использования;

n - количество ламп в светильнике;

Φ_L - световой поток одной лампы» [13].

Находим значение активной и реактивной мощности системы освещения помещения:

$$P_{осв} = N \cdot n \cdot P_L, \quad (16)$$

где « P_L - мощность одной лампы» [13].

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot tg\phi. \quad (17)$$

По аналогичной методике производим расчеты освещения в программном комплексе светотехнических расчетов DIALux Light. Полученные результаты расчетов заносим в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов систем освещения отдельных помещений

Краткое наименование помещения	$P_{осв}$, кВт	$Q_{осв}$, вар
1	2	3
Главный корпус производства		
КТП	1,73	0,83
Сварочный цех №1 (выхлопные системы)	65,60	31,49
Сварочный цех №2 (каркасы)	13,6	6,53
Вентустановки 5, 6	2×3,6	2×1,73

Продолжение таблицы 1

Краткое наименование помещения	Росв,кВт	Qосв, вар
Туалет	2×0,864	2×0,41
Комната отдыха	0,864	0,41
Помещение подзарядки аккумуляторов 2	1,6	0,77
Ремонтный цех	6,4	3,07
Совместное производственное объединение		
Производственный цех	32,8	16,13
Приёмная директора производства	0,144	0,069
Кабинет директора производства	0,108	0,052
Кабинет заместителя директора производства	0,144	0,07
Кабинет инженерно-технических работников	0,288	0,14
Помещение серверной и ТК	0,072	0,03
Кабинет для переговоров	0,144	0,07
Складской комплекс		
Складское помещение для выхлопных систем	32,4	15,55
Упаковочный участок	4,8	2,30
Складское помещение 1	3,6	1,73
Складское помещение 2	3,6	1,73
Склад компонентов и деталей	3,6	1,73
Всего по помещениям:	180,42	86,6

Найдем итоговые значения активной и реактивной мощности:

$$P_{\Sigma} = P_{P\Sigma} + P_{осв}; \quad (18)$$

$$P_{\Sigma} = 1821,69 + 180,42 = 2002,11 \text{ кВт};$$

$$Q_{\Sigma} = Q_{P\Sigma} + Q_{осв}; \quad (19)$$

$$Q_{\Sigma} = 2155,9 + 86,60 = 2242,5 \text{ квар.}$$

Полная итоговая нагрузка:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2}; \quad (20)$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{2002,11^2 + 2242,5^2} = 3053,72 \text{ кВА.}$$

Значение итогового тока с учетом системы освещения:

$$I_{\Sigma} = \frac{S_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_H}; \quad (21)$$

$$I_{\Sigma} = \frac{3053,72}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 4639,7 \text{ А.}$$

Результаты расчета нагрузок по узлам питания заносим в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчета нагрузок по узлам питания

№ ЭП на плане предпр.	Краткое наименование электроприемника	n, шт	P _Н (ПВ=100%)		m	K _И	cosφ/ tgφ	Среднесменна я нагрузка		n _Э	K _М	Расчётная нагрузка по узлу питания			I _Р , А
			P _Н , кВт	P _{НС} , кВт				P _С , кВт	Q _С , квар			P _Р , кВт	Q _Р , квар	S _Р , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ЩРА 4/1-1															
120-127	Сварочные установки (подвесное исполнение)	8	10	80	-	0,2	$\frac{0,4}{2,29}$	16	36,6	-	-	-	-	-	-
34-39	Сварочный робот	6	1,2	7,2	-	1	$\frac{0,9}{0,48}$	7,2	3,5	-	-	-	-	-	-
			8,5	50,5	-	0,2	$\frac{0,4}{2,3}$	10,1	23,1	-	-	-	-	-	-
213-215	Вентустановка	3	1,5	4,5	-	0,75	$\frac{0,8}{0,76}$	3,4	2,5	-	-	-	-	-	-
Всего по ЩРА 4/1-1		17	21,2	161,4	> 3	0,26	$\frac{0,49}{1,76}$	36,7	65,7	4	1,19	43,6	72,3	84,4	128,3
ЩРА 4/1-2															
70-92	Установка для точечной сварки	23	24	552	-	0,2	$\frac{0,4}{2,3}$	110,4	252,8	-	-	-	-	-	-
230-232	Вентустановка	3	1,1	3,3	-	0,75	$\frac{0,8}{0,75}$	3,3	2,5	-	-	-	-	-	-
Всего по ЩРА 4/1-2		26	25,1	555,3	> 3	0,20	$\frac{0,41}{2,26}$	112,9	254,7	2	2,7	303,6	280	413,1	627,7
172-176	Сварочная установка VX220/7,5H-C	5	15	75	-	0,2	$\frac{0,5}{1,73}$	15	26	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
233-235, 245-247	Вентустановка	6	1,1	6,6	-	0,75	$\frac{0,8}{0,75}$	5	3,7	-	-	-	-	-	-
208		1	2,2	2,2	-	0,75	$\frac{0,8}{0,75}$	1,7	1,24	-	-	-	-	-	-
Всего по ШРА 4/2-3		27	35,5	213,8	> 3	0,26	$\frac{0,52}{1,64}$	55,3	90,6	6	0,96	53,1	99,7	113	171,6
ШРА 4/2-4															
56-58	Сварочный робот	3	1,2	3,6	-	1	$\frac{0,9}{0,48}$	3,6	1,73	-	-	-	-	-	-
			8,4	25,2	-	0,2	$\frac{0,4}{2,3}$	5	11,5	-	-	-	-	-	-
203	Транспортер	1	2,2	2,2	-	0,55	$\frac{0,75}{0,9}$	1,2	1,1	-	-	-	-	-	-
158-167	Установка для сварки в аргоне	10	7,6	76	-	0,2	$\frac{0,4}{2,3}$	15,2	34,8	-	-	-	-	-	-
248-251	Вентустановка	4	1,1	4,4	-	0,75	$\frac{0,8}{0,75}$	3,3	2,5	-	-	-	-	-	-
Всего по ШРА 4/2-4		18	20,5	111,4	> 3	0,25	$\frac{0,48}{1,8}$	28,4	51,6	3	1,8	51	56,8	76,3	116
ШРА 4/4-1															
1-11	Сварочный робот	11	1,2	13,2	-	1	$\frac{0,9}{0,48}$	13,2	6,4	-	-	-	-	-	-
			8,4	92,4	-	0,2	$\frac{0,4}{2,3}$	18,5	42,3	-	-	-	-	-	-
59	Аппарат дуговой сварки	1	22	22	-	0,2	$\frac{0,75}{0,88}$	4,4	3,9	-	-	-	-	-	-
61-64	Установка для точечной сварки	4	24	96	-	0,2	$\frac{0,4}{2,3}$	19,2	44	-	-	-	-	-	-
209-211	Вентустановка	3	1,5	4,5	-	0,75	$\frac{0,8}{0,75}$	3,4	2,5	-	-	-	-	-	-
218		1	1,1	1,1	-	0,75	$\frac{0,8}{0,75}$	0,83	0,6	-	-	-	-	-	-
Всего по ШРА 4/4-1		20	58,2	229,2	-	0,26	$\frac{0,51}{1,7}$	59,5	99,6	5	1	59,5	109,6	124,7	189,5

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ШРА 4/4-2															
60	Аппарат дуговой сварки	1	22	22	-	0,2	0,75/ 0,88	4,4	3,87	-	-	-	-	-	-
204	Вентустановка	1	2,2	2,2	-	0,75	0,8/ 0,75	1,65	1,24	-	-	-	-	-	-
219..221		3	1,1	3,3	-	0,75	0,8/ 0,75	2,475	1,86	-	-	-	-	-	-
12..17	Сварочный робот	6	1,2	7,2	-	1	0,9/ 0,48	7,2	3,456	-	-	-	-	-	-
			8,4	50,4	-	0,2	0,4/ 2,29	10,08	23,08	-	-	-	-	-	-
65..67	Установка для точечной сварки	3	24	72	-	0,2	0,4/ 2,29	14,4	32,98	-	-	-	-	-	-
Всего по ШРА 4/4-2		14	58,9	157,1	> 3	0,26	0,52/ 1,65	40,205	66,48	4	1,19	47,84	73,13	87,39	132,77
ШРА 4/4-3															
18..29	Сварочный робот	12	1,2	14,4	-	1	0,9/ 0,48	14,4	6,912	-	-	-	-	-	-
			8,4	100,8	-	0,2	0,4/ 2,29	20,16	46,17	-	-	-	-	-	-
222..225	Вентустановка	4	1,1	4,4	-	0,75	0,8/ 0,75	3,3	2,475	-	-	-	-	-	-
68..69	Установка для точечной сварки	2	24	48	-	0,2	0,4/ 2,29	9,6	21,98	-	-	-	-	-	-
Всего по ШРА 4/4-3		18	34,7	167,6	> 3	0,28	0,52/ 1,63	47,46	77,54	3	1,42	67,3932	85,291	108,703	165,157
ШРА 4/8-2															
40..44	Сварочный робот	5	1,2	6	-	1	0,9/ 0,48	6	2,88	-	-	-	-	-	-
			8,4	42	-	0,2	0,4/ 2,29	8,4	19,24	-	-	-	-	-	-
145..150	Установка для сварки в аргоне	6	7,6	45,6	> 3	0,2	0,4/ 2,29	9,12	20,88	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
289	Электродвигатель створки ворот	1	0,55	0,55	-	0,4	0,75/ 0,88	0,22	0,19	-	-	-	-	-	-
-	Распредпункт 6	5	13,9	32,8	-	0,35	0,6/ 1,33	11,36	15,15	-	-	-	-	-	-
Всего по ШРА 4/9-1		21	53,9	207,15	> 3	0,26	0,54/ 1,55	54,5	84,421	4	1,19	64,855	92,863	113,268	172,093
ШРА 4/9-2															
282, 283	Установка для точечной сварки	2	24	48	-	0,2	0,4/ 2,29	9,6	21,984	-	-	-	-	-	-
259..262	Сварочный робот	4	1,2	4,8	-	1	0,9/ 0,48	4,8	2,304	-	-	-	-	-	-
			8,4	33,6	-	0,2	0,4/ 2,29	6,72	15,388 8	-	-	-	-	-	-
279	Внутришовная сварочная установка	1	37,2	37,2	-	0,2	0,4/ 2,29	7,44	17,037 6	-	-	-	-	-	-
269, 270	Пресс гидравлический	2	6,4	12,8	-	0,17	0,65/ 1,17	2,176	2,5459 2	-	-	-	-	-	-
280, 281	Аппарат для дуговой сварки в аргоне	2	56,2	112,4	-	0,2	0,4/ 2,29	22,48	51,479 2	-	-	-	-	-	-
290, 291	Вентустановка	2	22	44	-	0,75	0,8/ 0,75	33	24,75	-	-	-	-	-	-
292..295		4	5,5	22	-	0,75	0,8/ 0,75	16,5	12,375	-	-	-	-	-	-
Всего по ШРА 4/9-2		17	160, 9	314,8	> 3	0,33	0,57/ 1,44	102,71	147,86	6	0,95	97,58	162,65	189,68	288,184
ШРА 4/10-1															
103, 104	Сварочный робот	2	12,5	25	-	0,2	0,5/ 1,73	5	8,65	-	-	-	-	-	-
205	Вентустановка	1	2,2	2,2	-	0,75	0,8/ 0,75	1,65	1,24	-	-	-	-	-	-
212		1	1,5	1,5	-	0,75	0,8/ 0,75	1,125	0,84	-	-	-	-	-	-
226, 227		2	1,1	2,2	-	0,75	0,8/ 0,75	1,65	1,24	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
93..100	Установка для точечной сварки	8	48	384	-	0,2	0,4/ 2,29	76,8	175,87	-	-	-	-	-	-
Всего по ШРА 4/10-1		14	65,3	414,9	> 3	0,21	0,42/ 2,17	86,225	187,84	2	2,69	231,94	206,62	310,63	471,96
ШРА 4/10-2															
112..119	Сварочные установки (подвесное исполнение)	8	10	80	-	0,2	0,4/ 2,29	16	36,64	-	-	-	-	-	-
30..33	Сварочный робот	4	1,2	4,8	-	1	0,9/ 0,48	4,8	2,304	-	-	-	-	-	-
			8,4	33,6	-	0,2	0,4/ 2,29	6,72	15,39	-	-	-	-	-	-
105, 106	Сварочный робот	2	12,5	25	-	0,2	0,5/ 1,73	5	8,65	-	-	-	-	-	-
228, 229	Вентустановка	2	1,1	2,2	-	0,75	0,8/ 0,75	1,65	1,24	-	-	-	-	-	-
Всего по ШРА 4/10-2		16	33,2	145,6	> 3	0,23	0,47/ 1,88	34,17	64,22	4	1,46	49,89	70,64	86,48	131,396
ШРА 4/11-1															
177..190	Подзарядные устройства	14	7,2	100,8	-	0,5	0,7/ 1,02	50,4	51,408	-	-	-	-	-	-
252	Вентустановка	1	7,5	7,5	-	0,75	0,8/ 0,75	5,625	4,219	-	-	-	-	-	-
Всего по ШРА 4/11-1		15	14,7	108,3	> 3	0,52	0,71/ 0,99	56,025	55,63	-	-	-	-	-	-
Распределительный пункт 1															
193, 194	Вентустановка	2	75	150	-	0,7	0,8/ 0,75	105	78,75	-	-	-	-	-	-
Всего по распредпункту 1		2	75	150	< 3	0,7	0,8/ 0,75	105	78,75	2	1	105	86,625	136,12	206,814
Распределительный пункт 2															
195, 196	Вентустановка	2	75	150	-	0,7	0,8/ 0,75	105	78,75	-	-	-	-	-	-
Всего по распредпункту 2		2	75	150	< 3	0,7	0,8/ 0,75	105	78,75	2	1	105	86,625	136,12	206,814

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Распределительный пункт 3															
-	Распредпункт 1	2	75	150	-	0,7	0,8/ 0,75	105	78,75	-	-	-	-	-	-
240, 241	Вентустановка	2	1,1	2,2	-	0,75	0,8/ 0,75	1,65	1,24	-	-	-	-	-	-
191	Электродвигатель створки ворот	1	0,55	0,55	-	0,4	0,75/ 0,88	0,22	0,194	-	-	-	-	-	-
192	Вентустановка	1	11	11	-	0,65	0,85/ 0,62	7,15	4,433	-	-	-	-	-	-
Всего по распредпункту 3		6	87,6 5	163,75	> 3	0,7	0,8/ 0,74	114,02	84,61	2	1	114,02	93,07	147,186	223,625
Распределительный пункт 4															
-	Распредпункт 2	2	75	150		0,7	0,8/ 0,75	105	78,75	-	-	-	-	-	-
197..200	Токарный станок	4	1	4		0,13	0,4/ 2,29	0,52	1,19	-	-	-	-	-	-
201	Сварочная установка	1	5,2	5,2		0,2	0,4/ 2,29	1,04	2,38	-	-	-	-	-	-
Всего по распредпункту 4		7	81,2	159,2	> 3	0,67	0,79/ 0,77	106,56	82,32	2	1	106,56	90,55	139,84	212,464
Распределительный пункт 5															
286..288	Электродвигатель створки ворот	3	0,55	1,65	-	0,4	0,75/ 0,88	0,66	0,5808	-	-	-	-	-	-
296, 297	Вентустановка	2	30	60	-	0,7	0,8/ 0,75	42	31,5	-	-	-	-	-	-
298, 299	Вентустановка	2	11	22	-	0,65	0,85/ 0,62	14,3	8,866	-	-	-	-	-	-
277, 278	Тельфер	2	0,55	1,1	-	0,4	0,75/ 0,88	0,44	0,387	-	-	-	-	-	-
Всего по распредпункту 5		9	42,1	84,75	> 3	0,68	0,81/ 0,72	57,4	41,334	3	1	57,4	45,467	73,226	111,255

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Распределительный пункт 6															
263..266	Дефектовочный стенд	4	1,5	6	-	1	0,9/ 0,48	6	2,880	-	-	-	-	-	-
			4,8	19,2	-	0,2	0,4/ 2,29	3,84	8,794	-	-	-	-	-	-
284	Аппарат для сварки в аргоне	1	7,6	7,6	-	0,2	0,4/ 2,29	1,52	3,481	-	-	-	-	-	-
Всего по распределпункту 6		5	13,9	32,8	> 3	0,35	0,6/ 1,33	11,36	15,154	3	1,42	16,13	16,67	23,197	35,244
Распределительный пункт 7															
305..307	Вентустановка	3	11	33	-	0,65	0,85/ 0,62	21,45	13,299	-	-	-	-	-	-
310	Разрезной станок	1	4	4	-	0,13	0,4/ 2,29	0,52	1,1908	-	-	-	-	-	-
311	Гильотина	1	3	3	-	0,13	0,4/ 2,29	0,39	0,8931	-	-	-	-	-	-
312	Металлообрабатывающий станок	1	15	15	-	0,13	0,4/ 2,29	1,95	4,4655	-	-	-	-	-	-
313	Шлифовальная установка	1	1	1	-	0,13	0,4/ 2,29	0,13	0,2977	-	-	-	-	-	-
314	Переносной сварочный аппарат	1	5,2	5,2	-	0,2	0,4/ 2,29	1,04	2,3816	-	-	-	-	-	-
317..320	Вентустановка	4	1,1	4,4	-	0,75	0,8/ 0,75	3,3	2,475	-	-	-	-	-	-
300..302	Электродвигатель створки ворот	3	0,55	1,65	-	0,4	0,75/ 0,88	0,66	0,5808	-	-	-	-	-	-
Всего по распределпункту 7		15	40,8 5	67,25	> 3	0,44	0,75/ 0,87	29,44	25,583	4	1,06	31,206	28,141	42,021	63,845

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Итого по силовой нагрузке		330	1317,35	3978,4	> 3	0,32	0,57/1,45	1262,084	1826,322	14	0,85	1821,68	2179,9	2873,47	4365,79
Нагрузка системы внутреннего освещения		-	-	-	-	-	0,9/0,48	-	-	-	-	180,42	86,601	200,128	304,06
Итого по группе цехов		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2002,10	2266,5	3073,60	4669,86

Вывод: определены расчётные электрические нагрузки группы цехов.

4 Определение количества и номинальной мощности силовых трансформаторов на КТП

«Выбор числа трансформаторов на подстанции зависит от категории потребителей по степени надежности электроснабжения и от величины расчетной мощности.

Для питания потребителей первой категории предусматриваются двух- или трех трансформаторные подстанции с АВР по стороне вторичного напряжения.

Для потребителей второй категории рекомендуются двух- или трех трансформаторные подстанции, однотрансформаторные могут быть применены, если время замены вышедшего из строя трансформатора не превышает одних суток, а требуемая степень резервирования обеспечивается по связям вторичного напряжения от других подстанций.

Для потребителей третьей категории применяются однотрансформаторные подстанции. При значительной сосредоточенной нагрузке электроприемников третьей категории возможен вариант двухтрансформаторной подстанции без устройств АВР, с полной загрузкой трансформаторов в нормальном режиме и отключением части потребителей в послеаварийном режиме.

Для питания потребителей первой и второй категории выбираем для установки на подстанции два силовых трансформатора, мощность каждого определяем по формуле» [14, 15]:

$$S_{н.т.} \geq \frac{P_{р\Sigma}}{K_3 \cdot N_T}; \quad (22)$$

где « K_3 - коэффициент загрузки,

$P_{р\Sigma}$ - суммарная расчетная нагрузка;

N_T - число трансформаторов на ТП» [14];

$$S_{н.т.} \geq \frac{2002,1}{0,8 \cdot 2} = 1251,32 \text{ кВА}$$

По найденному значению мощности выбираем из каталога производителя силовые трансформаторы типа ТСЗ-1600/10 со следующими характеристиками: номинальная мощность S_n – 1600 кВА, потери на холостом ходу P_{xx} – 3.2 кВт, потери в режиме короткого замыкания $P_{кз}$ – 12,8 кВт, напряжение КЗ $U_{кз}$ – 6%, ток ХХ i_0 – 0,7%.

Распределяем нагрузку по секциям шин ТП с наибольшей равномерностью, результаты заносим в таблицу 3.

Таблица 3 – Распределение нагрузки по секциям шин ТП

ШРА	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{кВар}$	$S_p, \text{кВА}$	$I_p, \text{А}$
<i>СШ 1</i>				
1	347,3	352,4	497,6	755,9
2	222,9	306,7	380,9	578,7
3	98,7	47,4	109,5	166,4
4	174,7	268	320,8	487,4
5	114	93,1	147,2	223,6
6	60,4	48,1	77,4	117,6
Всего:	1018,1	1115,7	1533,4	2329,7
<i>СШ 2</i>				
ШРА	81,7	39,2	90,6	137,7
8	224,6	381,7	443,9	674,5
9	219,8	301	376,2	571,5
10	281,8	277,3	397,1	603,4
11	69,5	61,2	92,6	140,7
12	106,6	90,6	139,8	212,5
Всего:	984	1150,9	1540,3	2340,2

Найдем величину потерь в трансформаторе КТП:

$$\Delta P_T = P_{xx} + K_3^2 \cdot P_{кз}; \quad (23)$$

$$\Delta P_T = (3,2 + 0,8^2 \cdot 12,8) = 11,39 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = (i_0 + K_3^2 \cdot U_{кз}) \cdot \frac{S_H}{100}, \quad (24)$$

$$\Delta Q_T = (0,7 + 0,8^2 \cdot 6) \cdot \frac{1600}{100} = 72,64 \text{ квар.}$$

Суммарная расчетная нагрузка с учетом потерь на СШ1:

$$P_{P1} = P_{P\Sigma} + \Delta P_{T\Sigma}; \quad (25)$$

$$P_{P1} = 1018,07 + 11,39 = 1029,46 \text{ кВт};$$

$$Q_{P1} = Q_{P\Sigma} + \Delta Q_{T\Sigma}; \quad (26)$$

$$Q_{P1} = 115,68 + 72,64 = 188,32 \text{ квар.}$$

Суммарная расчетная нагрузка с учетом потерь на СШ2:

$$P_{P2} = 984,03 + 11,39 = 995,43 \text{ кВт};$$

$$Q_{P2} = 1150,90 + 72,64 = 1223,53 \text{ квар.}$$

Определим необходимую реактивную мощность КУ для СШ1 для выполнения первого условия компенсации:

$$Q_{КУmp1} = Q_P - Q_1 \quad (27)$$

$$Q_{ку.мп1} = 1188,32 - 760,66 = 427,66 \text{ квар}$$

$$Q_1 = \sqrt{(K_3 \cdot S_{н.м.})^2 - P_P^2} \quad (28)$$

$$Q_1 = \sqrt{(0,8 \cdot 1600)^2 - 1029,5^2} = 760,7 \text{ квар}$$

Определим необходимую реактивную мощность КУ для СШ1 для выполнения второго условия компенсации:

$$Q_{ку.мр2} = Q_P - Q_{\phi}, \quad (29)$$

где « Q_{ϕ} – часть реактивной мощности, потребляемой в часы максимальных нагрузок энергосистемы данной ТП, квар» [16];

$$Q_{ку.мр2} = 1188,32 - 205,89 = 982,43 \text{ квар}$$

$$Q_{\phi} = tg\phi_{\phi} \cdot P_P, \quad (30)$$

где $tg\phi_{\phi}$ - эффективное значение коэффициента мощности;

$$Q_{\phi} = 0,2 \cdot 1029,46 = 205,89 \text{ квар}$$

Из двух найденных значений выбираем самое большое.

Для компенсации реактивной мощности на СШ1 устанавливаем одну конденсаторную установку КРМ-0,4-600-4УЗ и одну конденсаторную установку КРМ-0,4-450-4УЗ с общей мощностью компенсации до 1050 квар.

На СШ2 расчет производим аналогичным образом по формулам 27-30:

$$Q_1 = \sqrt{(0,8 \cdot 1600)^2 - 995,43^2} = 804,69 \text{ квар}$$

$$Q_{ку.мр1} = 1223,53 - 804,69 = 418,85 \text{ квар}$$

$$Q_{\phi} = 0,2 \cdot 995,43 = 199,08 \text{ квар}$$

$$Q_{ку.мр2} = 1223,53 - 199,08 = 1024,46 \text{ квар}$$

Вывод: для компенсации реактивной мощности на СШ2 устанавливаем одну конденсаторную установку КРМ-0,4-600-4УЗ и одну конденсаторную установку КРМ-0,4-450-4УЗ с общей мощностью компенсации до 1050 квар.

5 Выбор схемы внутреннего электроснабжения производства

«Магистральные схемы находят применение при нагрузках, распределенных по площади цеха. Выполняются они чаще всего шинопроводами. Такие схемы надежны, универсальны, позволяют производить перестановку производственно-технологического оборудования в цехах без существенного изменения электрических сетей.

Широкое применение получила схема блока трансформатор – магистраль, выполненная с помощью комплектных магистральных или распределительных шинопроводов.

В такой схеме распределительное устройство низкого напряжения подстанции либо отсутствует, либо выполняется с небольшим числом отходящих от него линий для питания освещения и некоторых ЭП. К магистральному шинопроводу подключаются распределительные шинопроводы, НКУ и отдельные электроприемники большой мощности. К распределительным шинопроводам через ответвительные коробки подключаются НКУ и отдельные электроприемники.

Небольшое распределительное устройство низкого напряжения требуется при выполнении магистральной схемы с помощью нескольких распределительных шинопроводов» [16].

По своему назначению шинопроводы подразделяют:

- на магистральные, предназначенные в основном для присоединения к ним распределительных шинопроводов, НКУ и отдельных мощных электроприемников;
- распределительные, предназначенные для присоединения к ним комплектных устройств распределения и электроприемников;
- троллейные, предназначенные для питания передвижных ЭП;
- осветительные, предназначенные для питания светильников и ЭП небольшой мощности.

«Магистральные и распределительные шинопроводы серий ШМА и

ШРА предназначены для работы в электрических сетях напряжением 0,38 и 0,66 кВ промышленных предприятий, коммерческих и административных зданий. Магистральные шинопроводы выпускаются на токи от 1000 до 4000 А, предусматривают подсоединение к ним распределительных шинопроводов через ответвительные секции. Распределительные шинопроводы выпускаются на токи от 250 до 630 А, имеют большое количество ответвлений для подключения отходящих линий через ответвительные коробки.

Выпускаемые серии:

- магистральные ШМА4 – четырехпроводные и ШМА5 – пятипроводные;
- распределительные ШРА-4 – четырехпроводные и ШРА5 – пятипроводные.

Четырехпроводные шинопроводы имеют три шины фаз и нулевой рабочий проводник N, в качестве которого используется корпус секций шинопровода. Пятипроводные шинопроводы имеют четыре шины: три фазные и нулевую рабочую шину N. Корпус секций шинопровода играет роль нулевого защитного проводника PE» [17].

Шинопроводы набираются из отдельных секций: прямых, угловых, тройниковых и др. Для магистральных шинопроводов предусматриваются ответвительные секции с автоматическими выключателями на токи 1250, 1600, 2500, 3200 А. Возможно исполнение ответвительных секций без выключателей. Ответвления от распределительных шинопроводов выполняются с помощью ответвительных коробок, встраиваемых в прямые секции шинопроводов. Токи ответвлений могут иметь значения от 25 до 400 А. Номенклатура ответвительных коробок предусматривает коробки с предохранителями, разъединителями, автоматическими выключателями.

Вывод: исходя из вышеизложенного, для обеспечения электрической энергией электроприемников цеха в работе выбрана магистральная схема электроснабжения.

6 Выбор электрических аппаратов и проводников

В качестве комплектной трансформаторной подстанции выбираем 2КТП – СЭЦ–П–1600/10/0,4 – 0,3 – УЗ производства завода Электроцит г. Самара.

Выбор кабельных линий к распределительным пунктам и шинопроводам производим по величине расчетного тока:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (31)$$

Для питания отдельных электроприемников используем кабели АВВГнг различного сечения.

Для каждого отдельного электроприемника определяется значение номинального тока, по которому находится сечение проводника:

$$I_P = \frac{\sqrt{P_H^2 + (P_H \cdot \operatorname{tg}\phi)^2}}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (32)$$

Выбор сечения кабеля на напряжение до 1000 В производится путем сравнения расчетного тока с длительно допустимым справочным значением:

$$I_p \leq I_{дон},$$

где $I_{дон}$ - длительно допустимый ток по справочнику для трехжильного кабеля, А;

0,92 – поправочный коэффициент для четырехжильного кабеля.

$$I_p \leq I_{дон} \cdot 0,92, \quad (33)$$

Результаты выбора кабелей для узлов питания приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты выбора кабелей для узлов питания

Узел питания	$I_p,$ A	$I_{доп},$ A	$0,92 \cdot$ $I_{доп},$ A	Сечение выбранного кабеля АВВГнг если не указано иное
1	2	3	4	5
Распредпункт 1	206,81	235	216,2	3×150+ 1×120
Распредпункт 2	206,81	235	216,2	3×150+ 1×120
Распредпункт 3	223,62	270	248,4	3×185+ 1×150
Распредпункт 4	212,46	235	216,2	3×150+ 1×120
Распредпункт 5	111,26	140	128,8	3×70+ 1×50
Распредпункт 6	35,24	42	38,64	4×10
Распредпункт 7	63,84	75	69	3×25+1×16
Распредпункт 8	53,78	60	55,2	4×16
ШРА 4/1-1	128,27	140	128,8	3×70+ 1×50
ШРА 4/8-1	479,03	499	459,1	ВВГнг 3×240+ 1×185
ШРА 4/8-2	195,45	235	216,2	3×150+ 1×120
ШРА 4/2-1	100,28	140	128,8	3×70+ 1×50
ШРА 4/2-2	190,82	235	216,2	3×150+ 1×120
ШРА 4/2-3	171,62	200	184	3×120+ 1×95
ШРА 4/2-4	115,99	140	128,8	3×70+ 1×50
ШРА 4/9-1	172,09	200	184	3×120+ 1×95
ШРА 4/10-2	131,40	170	156,4	3×95+ 1×70
ШРА 4/4-1	189,47	235	216,2	3×150 + 1×120
ШРА 4/4-2	132,77	170	156,4	3×95+ 1×70
ШРА 4/4-3	165,15	200	184	3×120+ 1×95
ШРА 4/11-1	140,65	170	156,4	3×95+ 1×70
ШРА 4/9-2	288,18	321	295,3	ВВГнг 3×120+ 1×95

Для ШРА 4/1-2 (расчетный ток $I_p = 627,28$ А) и ШРА 4/10-1 (расчетный ток $I_p = 471,96$ А) выбираем два параллельных кабеля. Условие выбора:

$$I_p \leq 0,92 \cdot I_{дон} \cdot K_{сн}.$$

Для ШРА 4/1-2 условие выбора будет выглядеть:

$$\begin{aligned} (627,28 / 2) &\leq 0,92 \cdot 370 \cdot 1 \\ 313,64 &\leq 340,4 \end{aligned}$$

Принимаем 2 кабеля типа ВВГнг – 3×150 + 1×120.

Для РШ 4/10-1 условие выбора будет выглядеть:

$$\begin{aligned} (471,96 / 2) &\leq 0,92 \cdot 274 \cdot 1 \\ 235,98 &\leq 252,08 \end{aligned}$$

Принимаем 2 кабеля типа ВВГнг – 3×95 + 1×70.

С учетом выполнения условия $I_p \leq I_{дон} \cdot 0,92$ выполняем выбор кабелей к отдельным электроприемникам, а результаты выбора заносим в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты выбора кабелей к отдельным электроприемникам

№ ЭП на плане предпр.	Краткое наименование электроприемника	I_p, A	$I_{дон}, A$	$0,92 \cdot I_{дон}, A$	Сечение выбранного кабеля ВВГнг если не указано иное
1	2	3	4	5	6
Главный корпус производства					
1..58	Сварочный робот	34	37	34,04	4×4
59, 60	Аппарат дуговой сварки	44,6	49	45,08	4×10
61..92	Установка для точечной сварки	91,3	115	105,8	4×25
93..100	Установка для точечной сварки	183	226	207,9	3×70+1×50
101, 102	Пресс гидравлический	11	21	19,32	4×1,5
103..108	Сварочный робот	38	49	45,08	4×10

Продолжение таблицы 5

№ ЭП на плане предпр.	Краткое наименование электроприемника	I_p, A	$I_{доп}, A$	$0,92 \cdot I_{доп}, A$	Сечение выбранного кабеля ВВГнг если не указано иное
109	Внутришовная сварочная установка	141	177	162,8	3×50+1×35
110, 111	Сварочная линия с компьютерным управлением	334	370	340,4	3×150+1×120
112..127	Сварочные установки (подвесное исполнение)	38	49	45,08	4×10
128, 129	Дефектовочный стенд	20,8	28	25,76	4×2,5
130	Сварочный агрегат	35,3	49	45,08	4×10
131, 132	Установка для сварки в аргоне	73	87	80,04	4×16
133..144	Установка для сварки в углекислом газе	31,9	37	34,04	4×4
145..167	Установка для сварки в аргоне	28,9	37	34,04	4×4
168..176	Сварочная установка VX220/7,5H-C	45,6	66	60,72	4×10
177..190	Подзарядные устройства	15,6	21	19,32	4×1,5
191	Электродвигатель створки ворот	1,12	21	19,32	4×1,5
192	Вентустановка	19,7	28	25,76	4×2,5
193..196	Вентустановка	143	177	162,8	3×50+1×35
197..200	Токарный станок	3,8	21	19,32	4×1,5
201	Переносной сварочный аппарат	19,8	28	25,76	4×2,5
202, 203	Транспортер	4,46	21	19,32	4×1,5
204..208	Вентустановка	4,18	21	19,32	4×1,5
209..217		2,85	21	19,32	4×1,5
218..251		2,09	21	19,32	4×1,5
252		14,3	21	19,32	4×1,5
Совместное производственное объединение					
253..262	Сварочный робот	33,91	37	34,04	4×4
263..268	Дефектовочный стенд	20,75	28	25,76	4×2,5
269, 270	Пресс гидравлический	14,97	21	19,32	4×1,5
271..276	Сварочный робот	48,58	66	60,72	4×10
277, 278	Тельфер	1,11	21	19,32	4×1,5
279	Внутришовная сварочная установка	141,2	177	162,8	3×50+1×35
280, 281	Установка для сварки в аргоне	213,4	274	252,1	3×95+1×70

Продолжение таблицы 5

№ ЭП на плане предпр.	Краткое наименование электроприемника	I_p , А	$I_{дон}$, А	$0,92 \cdot I_{дон}$, А	Сечение выбранного кабеля ВВГнг если не указано иное
282, 283	Установка для точечной сварки	91,12	115	105,8	4×25
284, 285	Установка для сварки в аргоне	28,85	37	34,04	4×4
286..289	Электродвигатель створки ворот	1,11	21	19,32	4×1,5
290, 291	Вентустановка	41,8	49	45,08	4×10
292..295		10,45	21	19,32	4×1,5
296, 297	Вентустановка	57,0	66	60,72	4×10
298, 299	Вентустановка	19,66	28	25,76	4×2,5
Складской комплекс					
300..304	Электродвигатель створки ворот	1,113	21	19,32	4×1,5
305..309	Вентустановка	19,66	28	25,76	4×2,5
310	Разрезной станок	15,2	21	19,32	4×1,5
311	Гильотина	11,4	21	19,32	4×1,5
312	Металлообрабатывающий станок	57,0	66	60,72	4×10
313	Шлифовальная установка	3,8	21	19,32	4×1,5
314	Переносной сварочный аппарат	19,7	28	25,76	4×2,5
315, 316	Тельфер	1,113	21	19,32	4×1,5
317..326	Вентустановка	2,089	21	19,32	4×1,5
327..330	Помещение охраны	4,213	21	19,32	4×1,5

Выбор шинопроводов производим аналогично по расчетному току, результаты заносим в таблицу 6.

Таблица 6 – Результаты выбора шинопроводов

Узел питания	I_p , А	I_n , А	Выбранный шинопровод ШРА4 если не указано иное
1	2	3	4
ШРА 4/1-1	128,27	250	250-32-1У3
ШРА 4/1-2	627,28	630	630-32-1У3
ШРА 4/8-1	479,03	630	630-32-1У3
ШРА 4/8-2	195,45	250	250-32-1У3

Продолжение таблицы 6

Узел питания	I_p , А	I_n , А	Выбранный шинопровод ШРА4 если не указано иное
ШРА 4/2-1	100,28	250	250-32-1У3
ШРА 4/2-2	190,82	250	250-32-1У3
ШРА 4/2-3	171,62	250	250-32-1У3
ШРА 4/2-4	115,99	250	250-32-1У3
ШРА 4/9-1	172,09	250	250-32-1У3
ШРА 4/9-2	288,18	400	400-32-1У3
ШРА 4/10-1	471,96	630	630-32-1У3
ШРА 4/10-2	131,40	250	250-32-1У3
ШРА 4/4-1	189,47	250	250-32-1У3
ШРА 4/4-2	132,77	250	250-32-1У3
ШРА 4/4-3	165,15	250	250-32-1У3
ШРА 4/11-1	140,65	250	250-32-1У3
ШМА 4/1	75594	1250	ШМА4-1250-44-1У3
ШМА 4/8	674,47	1250	ШМА4-1250-44-1У3
ШМА 4/2	578,71	630	630-32-1У3
ШМА 4/9	57,5	630	630-32-1У3
ШМА 4/10	603,35	630	630-32-1У3
ШМА 4/4	487,40	630	630-32-1У3

Выбор тока расцепителя и номинального тока автоматического выключателя производим по расчетному току. Выбираем автоматические выключатели марки ВА-СЭЩ. Трансформаторы тока выбираем ТШЛ-0,66, кроме ШМА 4/3, ШМА 4/11, ШМА 4/7 и ШМА 4/6 на линиях к которым устанавливаем ТОП-0,66. Результаты выбора автоматических выключателей и трансформаторов тока на отходящих линиях распредустройства сводим в таблицу 7.

Таблица 7 – Результаты выбора автоматических выключателей и трансформаторов тока на отходящих линиях распреустройства

Фидер	I_p, A	Автоматические выключатели		Трансформаторы тока
		I_n, A	I_{nt}, A	
Вводная ячейка	4669,86	<i>АН – 50 G</i>		5000/5
		5000	5000	
ШМА 4/1	755,94	<i>BTS800</i>		800/5
		800	800	
ШМА 4/8	674,47	<i>BTS800</i>		800/5
		800	800	
ШМА 4/3	166,37	<i>BTS160</i>		150/5
		160	125	
ШМА 4/2	578,717	<i>BTS630</i>		600/5
		630	600	
ШМА 4/9	571,53	<i>BTS630</i>		600/5
		630	600	
ШМА 4/10	603,353	<i>BTS630</i>		800/5
		630	630	
ШМА 4/4	487,406	<i>BTS630</i>		600/5
		630	500	
ШМА 4/11	140,66	<i>BTS160</i>		150/5
		160	150	
ШМА 4/12	212,46	<i>BTS250</i>		300/5
		250	250	
ШМА 4/5	223,62	<i>BTS250</i>		300/5
		250	250	
ШМА 4/7	137,7	<i>BTS160</i>		150/5
		160	150	

Продолжение таблицы 7

Фидер	I_p, A	Автоматические выключатели		Трансформаторы тока
ШМА 4/6	117,62	BTS160		150/5
		160	125	
Секц.	2192,8	АН 25Е		2500/5
		2500	2500	

Результаты выбора автоматических выключателей для защиты распределительных шинопроводов сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Результаты выбора автоматических выключателей для защиты распределительных шинопроводов

Узел питания	I_p, A	Автоматический выключатель типа ВА	
		I_n, A	$I_{нт}, A$
РП №1	206,81	51-35	
		250	250
РП №2	206,81	51-35	
		250	250
РП №3	223,62	51-35	
		250	250
РП №4	212,46	51-35	
		250	250
РП №5	111,26	51-33	
		160	125
РП №6	35,24	51-29	
		63	40
РП №7	63,84	51-31	
		100	80
РП №8	53,78	51-29	
		63	63
ШРА 4/1-1	128,27	51-33	
		160	160

Продолжение таблицы 8

Узел питания	I_p, A	Автоматический выключатель типа ВА	
		I_n, A	$I_{нт}, A$
ШРА 4/1-2	627,68	51-39	
		630	630
ШРА 4/8-1	479,03	51-39	
		630	500
ШРА 4/8-2	195,45	51-35	
		250	200
ШРА 4/2-1	100,28	51-33	
		160	125
ШРА 4/2-2	190,82	51-35	
		250	200
ШРА 4/2-3	171,62	51-35	
		250	200
ШРА 4/2-4	115,99	51-33	
		160	125
ШРА 4/9-1	172,09	51-35	
		250	200
ШРА 4/9-2	288,18	51-37	
		400	320
ШРА 4/10-1	471,96	51-39	
		630	500
ШРА 4/10-2	131,40	51-33	
		160	160
ШРА 4/4-1	189,47	51-35	
		250	200
ШРА 4/4-2	132,77	51-33	
		160	160
ШРА 4/4-3	165,15	51-35	
		250	200
ШРА 4/11-1	140,65	51-33	
		160	160

Результаты выбора АВ для защиты отдельных электроприемников приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты выбора АВ для защиты отдельных электроприемников

№ ЭП на плане предпр.	Краткое наименование электроприемника	I_p, A	Автоматический выключатель типа ВА	
			I_n, A	$I_{нт}, A$
Главный корпус производства				
1..58	Сварочный робот	34	51-29	
			63	40
59, 60	Аппарат дуговой сварки	44,6	51-29	
			63	50
61..92	Установка для точечной сварки	91,3	51-31	
			100	100
93..100	Установка для точечной сварки	183	51-35	
			250	200
101, 102	Пресс гидравлический	11	51-25	
			25	12,5
103..108	Сварочный робот	38	51-29	
			63	63
109	Внутришовная сварочная установка	141	51-33	
			160	160
110, 111	Сварочная линия с компьютерным управлением	334	ВА-СЭЩ В TS400	
			400	400
112..127	Сварочные установки (подвесное исполнение)	38	51-29	
			63	40
128, 129	Дефектовочный стенд	20,8	51-25	
			25	25
130	Сварочный агрегат	35,3	51-29	
			63	40
131, 132	Установка для сварки в аргоне	73	51-31	
			100	80
133..144	Установка для сварки в углекислом газе	31,9	51-29	
			63	40
145..167	Установка для сварки в аргоне	28,9	51-29	
			63	31,5
168..176	Сварочная установка VX220/7,5H-C	45,6	51-29	
			63	50
177..190	Подзарядные устройства	15,6	51-25	
			25	20

Продолжение таблицы 9

№ ЭП на плане предпр.	Краткое наименование электроприемника	I_p, A	Автоматический выключатель типа ВА	
			I_n, A	$I_{нт}, A$
191	Электродвигатель створки ворот	1,12	51-25	
			25	6,3
192	Вентустановка	19,7	51-25	
			25	25
193..196	Вентустановка	143	51-33	
			160	160
197..200	Токарный станок	3,8	51-25	
			25	6,3
201	Переносной сварочный аппарат	19,8	51-25	
			25	25
202, 203	Транспортер	4,46	51-25	
			25	6,3
204..208		4,18	51-25	
			25	6,3
209..217	Вентустановка	2,85	51-25	
			25	6,3
218..251		2,09	51-25	
			25	6,3
252		14,3	51-25	
			25	16
Совместное производственное объединение				
253..262	Сварочный робот	33,91	51-29	
			63	40
263.. 268	Дефектовочный стенд	20,75	51-25	
			25	25
269, 270	Пресс гидравлический	14,97	51-25	
			25	16
271..276	Сварочный робот	48,58	51-29	
			63	50
277, 278	Тельфер	1,11	51-25	
			25	6,3
279	Внутришовная сварочная установка	141,2	51-33	
			160	160
280, 281	Установка для сварки в аргоне	213,4	51-35	
			250	250
282, 283	Установка для точечной сварки	91,12	51-31	
			100	100

Продолжение таблицы 9

№ ЭП на плане предпр.	Краткое наименование электроприемника	I_p, A	Автоматический выключатель типа ВА	
			I_n, A	$I_{нт}, A$
284, 285	Установка для сварки в аргоне	28,85	51-29	
			63	31,5
286..289	Электродвигатель створки ворот	1,11	51-25	
			25	6,3
290, 291	Вентустановка	41,8	51-29	
			63	50
292..295	Вентустановка	10,45	51-25	
			25	16
296, 297	Вентустановка	57,0	51-29	
			63	63
298, 299	Вентустановка	19,66	51-25	
			25	25
Складской комплекс				
300..304	Электродвигатель створки ворот	1,11	51-25	
			25	6,3
305..309	Вентустановка	19,66	51-25	
			25	25
310	Разрезной станок	15,2	51-25	
			25	20
311	Гильотина	11,4	51-25	
			25	16
312	Металлообрабатывающий станок	57,0	51-29	
			63	63
313	Шлифовальная установка	3,8	51-25	
			25	6,3
314	Переносной сварочный аппарат	19,7	51-25	
			25	25
315, 316	Тельфер	1,113	51-25	
			25	6,3
317..326	Вентустановка	2,089	51-25	
			25	6,3
327..330	Помещение охраны	4,213	51-25	
			25	6,3

Вывод: на шинопроводах устанавливаются ответвительные коробки У2032У3 и У2033У3 в которых размещаются автоматические выключатели.

7 Определение токов КЗ

Для определения токов КЗ составляем расчетную схему, которая приведена на рисунке 1 и ее схему замещения, которая приведена на рисунке

2. Расчеты производим в четырех точках КЗ.

7.1 Определение параметров элементов схемы замещения

Цеховой трансформатор типа ТСЗ-1600/10/0,4 [17, 18]:

$$S_n = 100 \text{ кВА};$$

$$U_{H BH} = 10 \text{ кВ}; \quad U_{H HH} = 0,4 \text{ кВ};$$

$$U_K = 6 \%;$$

$$R_T = \frac{P_{кз} \cdot U_{н.нн}^2}{S_n^2} \cdot 10^6; \quad (34)$$

$$R_T = \frac{12,8 \cdot 0,4^2}{1600^2} 10^6 = 0,8 \text{ МОм};$$

$$Z_T = \frac{U_K \cdot U_{н.нн}^2}{S_n} \cdot 10^4; \quad (35)$$

$$Z_T = \frac{6 \cdot 0,4^2}{1600} 10^4 = 6 \text{ МОм};$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = 5,95 \text{ МОм}.$$

Шинопровод от Т1 до вводного выключателя АВ1:

$$R_{III} = 0,009 \text{ МОм};$$

$$X_{III} = 0,004 \text{ МОм}.$$

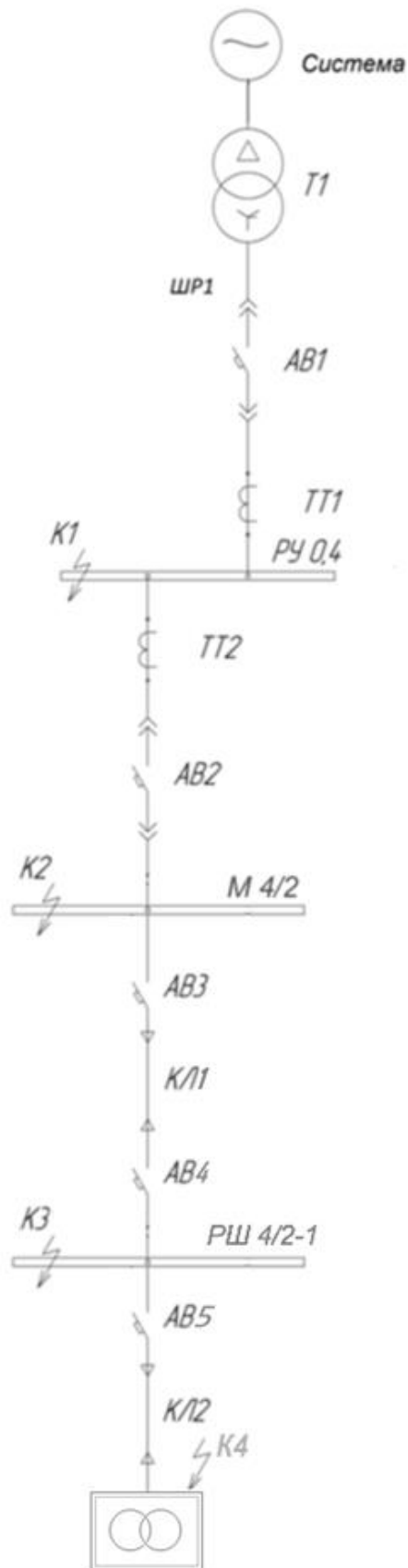


Рисунок 1 – Расчетная схема для определения токов КЗ

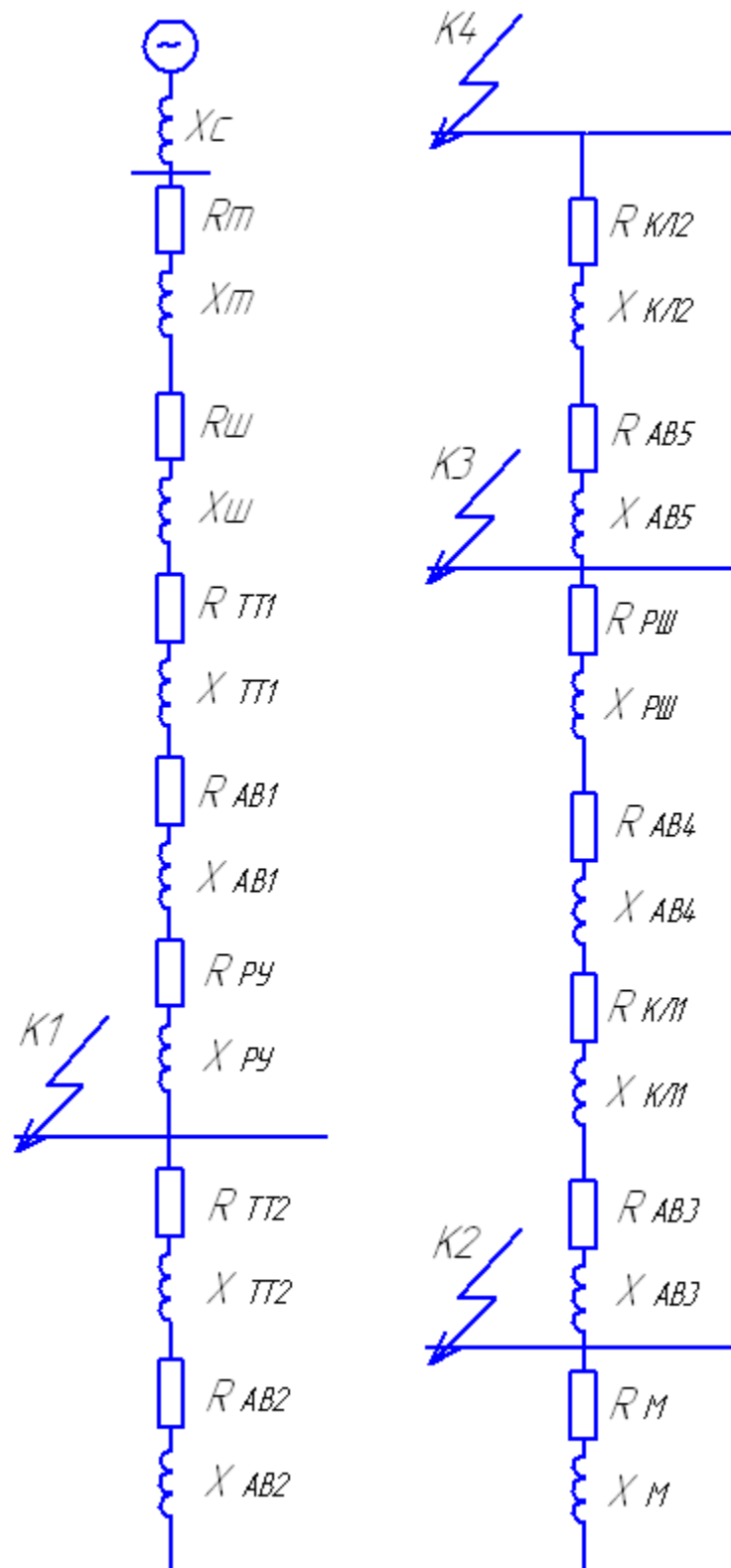


Рисунок 2 – Схема замещения для определения токов К3

Трансформатор тока ТТ1:

ТШЛ-0,66-5000/5

$$R_{TT1} = 0,001 \text{ мОм};$$

$$X_{TT1} = 0,001 \text{ мОм}.$$

Вводной автомат АВ1:

ВА-СЭЩ В АН –50 G , $I_H = 5000 \text{ A}$;

$$R_{AB1} = 0,13 \text{ мОм};$$

$$X_{AB1} = 0,07 \text{ мОм}.$$

Сборные шины распределительного устройства ТП:

$$R_{PY} = 0,009 \text{ мОм};$$

$$X_{PY} = 0,004 \text{ мОм}.$$

Измерительный трансформатор тока ТТ2:

ТТОШТ-0,66-1000 У3

$$R_{TT2} = 0,02 \text{ мОм};$$

$$X_{TT2} = 0,03 \text{ мОм}.$$

Автоматический выключатель на отходящей линии АВ2:

ВА-СЭЩ В TS800, $I_H = 800 \text{ A}$;

$$R_{AB2} = 0,25 \text{ мОм};$$

$$X_{AB2} = 0,1 \text{ мОм} .$$

Магистральный шинопровод ШМА 4/8:

ШМА4-1250-44-1У3, $l = 20$ м;

$$R_{y\partial} = 0,034 \text{ мОм} / \text{м};$$

$$X_{y\partial} = 0,016 \text{ мОм} / \text{м};$$

$$R_M = 20 \cdot 0,034 = 0,68 \text{ мОм};$$

$$X_M = 20 \cdot 0,016 = 0,32 \text{ мОм}.$$

Автоматический выключатель АВ3 на магистральном шинопроводе:

ВА-СЭЩ В TS630, $I_H = 630$ А;

$$R_{AB3} = 0,41 \text{ мОм};$$

$$X_{AB3} = 0,13 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ1 к распределительному шинопроводу:

ВВГ – 3×240+ 1×185;

$$l = 6 \text{ м};$$

$$R_{y\partial} = 0,09 \text{ мОм} / \text{м};$$

$$X_{y\partial} = 0,03 \text{ мОм} / \text{м};$$

$$R_{KL1} = 6 \cdot 0,09 = 0,54 \text{ мОм};$$

$$X_{KL1} = 6 \cdot 0,03 = 0,18 \text{ мОм}.$$

Автоматический выключатель АВ4 на распределительном шинопроводе:

ВА-СЭЩ В TS630, $I_H = 630$ А;

$$R_{AB4} = 0,41 \text{ мОм};$$

$$X_{AB4} = 0,13 \text{ мОм}.$$

Шинопровод распределительный ШРА 4/8-1:

ШРА4-630-32-1У3, $l = 18$ м;

$$R_{y\partial} = 0,1 \text{ мОм} / \text{м};$$

$$X_{y\partial} = 0,13 \text{ мОм} / \text{м};$$

$$R_{PII} = 18 \cdot 0,1 = 1,8 \text{ мОм};$$

$$X_{PII} = 18 \cdot 0,13 = 2,34 \text{ мОм}.$$

Автоматический выключатель АВ5 для защиты ЭП:

ВА-СЭЩ В TS400, $I_H = 400$ А;

$$R_{AB5} = 0,65 \text{ мОм};$$

$$X_{AB5} = 0,17 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ2 к электроприемнику:

ВВГ – 3×150+1×120, $l = 5$ м;

$$R_{y\partial} = 0,15 \text{ мОм} / \text{м};$$

$$X_{y\partial} = 0,033 \text{ мОм} / \text{м};$$

$$R_{KЛ2} = 5 \cdot 0,15 = 0,75 \text{ мОм};$$

$$X_{KЛ4} = 5 \cdot 0,033 = 0,165 \text{ мОм}.$$

Найденные значения сопротивлений используются для определения суммарных значений сопротивлений до точек КЗ.

7.2 Определение значений токов КЗ в выбранных точках

$$X_C = \frac{U_B}{S_{кз.сис}} \cdot 10^3; \quad (36)$$

где U_B - базисное напряжение;

$S_{кз.сис}$ - мощность КЗ со стороны системы;

$$X_C = \frac{0,4^2}{100} \cdot 10^3 = 1,6 \text{ мОм};$$

Определим значения токов КЗ в точке К1.

«Найдем ток трехфазного металлического короткого замыкания» [3]:

$$I_{\text{км}}^{(3)} = \frac{U_{\text{нн}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}^{(3)}} = \frac{U_{\text{нн}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}}. \quad (37)$$

где Z_{Σ} - суммарное значение полного сопротивления до точки КЗ;

«Определим суммарное значение активного и реактивного сопротивлений до точки короткого замыкания» [3]:

$$R_{\Sigma} = 0,8 + 0,009 + 0,001 + 0,13 + 0,009 = 0,949 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma} = 1,6 + 5,95 + 0,004 + 0,001 + 0,07 + 0,004 = 7,629 \text{ мОм}.$$

«Найдем значение полного суммарного сопротивления до точки короткого замыкания» [3]:

$$Z_{\Sigma R1} = \sqrt{R_{\Sigma K1}^2 + X_{\Sigma K1}^2}; \quad (38)$$

$$Z_{\Sigma R1} = 7,69 \text{ мОм}.$$

«Определим значение тока трехфазного металлического короткого замыкания» [3]:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 7,69} = 28,57 \text{ кА}.$$

При помощи метода снижающих коэффициентов определим значение трехфазного дугового короткого замыкания.

Значению $Z_{\Sigma K1} = \sqrt{R_{\Sigma K1}^2 + X_{\Sigma K1}^2} = 7,69$ соответствуют следующие снижающие коэффициенты:

$$K_{c1} = 0,83; K_{c2} = 0,74.$$

Тогда значение тока трехфазного дугового КЗ:

$$I_{\kappa\delta}^{(3)} = I_{\kappa\mu}^{(3)} \cdot K_c; \quad (39)$$

$$I_{\kappa\delta}^{(3)} = 28,57 \cdot 0,83 = 23,7 \text{ кА при } t_{\kappa\delta} \leq 0 \text{ с.};$$

$$I_{\kappa\delta}^{(3)} = 28,57 \cdot 0,74 = 21,14 \text{ кА при } t_{\kappa\delta} \geq 0,05 \text{ с.}$$

Найдем значение ударного тока в точке КЗ:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K3}; \quad (40)$$

для соотношения $\frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = \frac{7,629}{0,949} = 8,03$ ударный коэффициент равен

$$K_y = 1,7.$$

Тогда:

$$i_{y K1} = \sqrt{2} \cdot 1,7 \cdot 28,57 = 68,5.$$

Определим значения токов КЗ в точке К2.

«Определим суммарное значение активного и реактивного сопротивлений до точки короткого замыкания» [3]:

$$R_{\Sigma} = 0,8 + 0,009 + 0,001 + 0,13 + 0,009 + 0,02 + 0,25 + 0,68 = 1,9 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma} = 1,6 + 5,95 + 0,004 + 0,001 + 0,07 + 0,004 + 0,03 + 0,1 + 0,32 = 8,08 \text{ мОм}.$$

«Найдем значение полного суммарного сопротивления до точки короткого замыкания» [3]:

$$Z_{\Sigma K2} = \sqrt{R_{\Sigma K2}^2 + X_{\Sigma K2}^2} = 8,3 \text{ МОм};$$

«Определим значение тока трехфазного металлического короткого замыкания» [3]:

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 8,3} = 26,5 \text{ кА};$$

При помощи метода снижающих коэффициентов определим значение трехфазного дугового короткого замыкания.

Снижающие коэффициенты:

$$K_{c1} = 0,84; K_{c2} = 0,75.$$

Тогда значение тока трехфазного дугового КЗ:

$$I_{кд}^{(3)} = 26,5 \cdot 0,84 = 22,3 \text{ кА при } t_{кз} \leq 0 \text{ с};$$

$$I_{кд}^{(3)} = 26,5 \cdot 0,75 = 19,87 \text{ кА при } t_{кз} \geq 0,05 \text{ с}.$$

Исходя из отношения сопротивлений найдем ударный коэффициент:

$$\frac{X_{\Sigma K2}}{R_{\Sigma K2}} = 4,2 \Rightarrow K_{y K2} = 1,4;$$

Найдем значение ударного тока в точке КЗ:

$$i_{y K2} = \sqrt{2} \cdot K_{y K2} \cdot I_{K2}^{(3)} = 52,3 \text{ кА}.$$

Определим значения токов КЗ в точке КЗ.

«Определим суммарное значение активного и реактивного сопротивлений до точки короткого замыкания» [3]:

$$R_{\Sigma} = 0,8 + 0,009 + 0,001 + 0,13 + 0,009 + 0,02 + 0,25 + 0,68 + 0,41 + 0,54 + 0,41 + 1,8 = 5,06 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma} = 1,6 + 5,95 + 0,004 + 0,001 + 0,07 + 0,004 + 0,03 + 0,1 + 0,32 + 0,13 + 0,18 + 0,13 + 2,34 = 10,86 \text{ мОм};$$

«Найдем значение полного суммарного сопротивления до точки короткого замыкания» [3]:

$$Z_{\Sigma K3} = \sqrt{R_{\Sigma K3}^2 + X_{\Sigma K3}^2} = 11,98 \text{ мОм};$$

«Определим значение тока трехфазного металлического короткого замыкания» [3]:

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 11,98} = 18,3 \text{ кА};$$

При помощи метода снижающих коэффициентов определим значение трехфазного дугового короткого замыкания.

Снижающие коэффициенты:

$$K_{c1} = 0,87; K_{c2} = 0,76.$$

Тогда значение тока трехфазного дугового КЗ:

$$I_{\kappa\delta}^{(3)} = 18,3 \cdot 0,87 = 15,9 \text{ кА при } t_{\kappa\delta} \leq 0 \text{ с};$$

$$I_{\kappa\delta}^{(3)} = 18,3 \cdot 0,76 = 13,9 \text{ кА при } t_{\kappa\delta} \geq 0,05 \text{ с}.$$

Исходя из отношения сопротивлений найдем ударный коэффициент:

$$\frac{X_{\Sigma K3}}{R_{\Sigma K3}} = 2,1 \Rightarrow K_{y K3} = 1,2;$$

Найдем значение ударного тока в точке К3:

$$i_{y K3} = \sqrt{2} \cdot K_{y K3} \cdot I_{K3}^{(3)} = 30,9 \text{ кА.}$$

Определим значения токов КЗ в точке К4.

«Определим суммарное значение активного и реактивного сопротивлений до точки короткого замыкания» [3]:

$$R_{\Sigma} = 0,8 + 0,009 + 0,001 + 0,13 + 0,009 + 0,02 + 0,25 + 0,68 + \\ + 0,41 + 0,54 + 0,41 + 1,8 + 0,65 + 0,75 = 6,46 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma} = 1,6 + 5,95 + 0,004 + 0,001 + 0,07 + 0,004 + 0,03 + 0,1 + \\ + 0,32 + 0,13 + 0,18 + 0,13 + 2,34 + 0,17 + 0,165 = 11,2 \text{ мОм};$$

«Найдем значение полного суммарного сопротивления до точки короткого замыкания» [3]:

$$Z_{\Sigma K4} = \sqrt{R_{\Sigma K4}^2 + X_{\Sigma K4}^2} = 12,9 \text{ мОм};$$

«Определим значение тока трехфазного металлического короткого замыкания» [19, 20]:

$$I_{K4}^{(3)} = \frac{U_{ННН}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K4}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 11,6} = 16,9 \text{ кА};$$

При помощи метода снижающих коэффициентов определим значение

трехфазного дугового короткого замыкания.

Снижающие коэффициенты:

$$K_{c1} = 0,88; K_{c2} = 0,78.$$

Тогда значение тока трехфазного дугового КЗ:

$$I_{\kappa\delta}^{(3)} = 16,9 \cdot 0,88 = 14,8 \text{ кА при } t_{\kappa\delta} \leq 0 \text{ с.};$$

$$I_{\kappa\delta}^{(3)} = 16,9 \cdot 0,78 = 13,2 \text{ кА при } t_{\kappa\delta} \geq 0,05 \text{ с.}$$

Исходя из отношения сопротивлений найдем ударный коэффициент:

$$\frac{X_{\Sigma K4}}{R_{\Sigma K4}} = 1,7 \Rightarrow K_{yK3} = 1,1;$$

Найдем значение ударного тока в точке КЗ:

$$i_{yK4} = \sqrt{2} \cdot K_{yK3} \cdot I_{K3}^{(4)} = 26,2 \text{ кА.}$$

По полученным в результате расчётов значениям ударных токов к.з. в выбранных четырёх точках необходимо проверить пригодность автоматических выключателей.

7.3 Проверка коммутационных аппаратов

Результаты расчета токов КЗ используем для проверки выбранных автоматических выключателей на электродинамическую стойкость.

Ток КЗ в точке К1 будет протекать через АВ типа ВА 75-47 и ВА-СЭЩ В TS800(Н), электродинамическая стойкость которых составляет 70 и 100 кА

соответственно:

$$i_{yK1} = 68,5 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 70 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 100 \text{ кА}.$$

Условие проверки выполняется.

Ток КЗ в точке К2 будет протекать через АВ типа ВА-СЭЩ В TS800 и ВА-СЭЩ В TS630, электродинамическая стойкость которых составляет 100 кА и 85 кА соответственно:

$$i_{yK2} = 52,3 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 100 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 85 \text{ кА}.$$

Условие проверки выполняется.

Ток КЗ в точке К3 будет протекать через АВ типа ВА-СЭЩ В TS630 и ВА-СЭЩ В TS400, электродинамическая стойкость которых составляет 85 и 65 кА соответственно:

$$i_{yK3} = 30,9 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 85 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 65 \text{ кА}.$$

Условие проверки выполняется.

Ток КЗ в точке К4 будет протекать через АВ типа ВА-СЭЩ В TS400, электродинамическая стойкость которого составляет 65 кА, тогда условие проверки:

$$i_{yK4} = 30,9 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 65 \text{ кА}.$$

Вывод: условие проверки выполняется, а, следовательно, выбранные коммутационные аппараты прошли проверку.

8 Определение параметров системы заземления КТП

Для расчета заземления подстанции используются следующие исходные параметры помещения, грунта и расположения заземлителей: длина стержней - $l = 5$ м; диаметр - $d = 0,012$ м; расстояние между смежными стержнями - $a = 10$ м; нормируемое значение сопротивления - $R_z = 0,5$ Ом; глубина заложения - $t = 0,7$; удельное сопротивление грунта в месте установки заземлителя по результатам геологических изысканий $\rho = 100$ Ом·м.

«Расчетное сопротивление грунта» [20]:

$$\rho_{расч} = \rho_{гр} \cdot K_c; \quad (41)$$

где « $\rho_{гр}$ - удельное сопротивление грунта, Ом·м,
 $K_c = 1.25$ - коэффициент сезонности» [20].

$$\rho_{расч} = 100 \cdot 1.25 = 125 \text{ Ом};$$

«Сопротивление одного вертикального заземлителя» [20]:

$$R_c = \frac{0,366 \cdot \rho_{расч}}{l} \cdot \left[\lg\left(\frac{2 \cdot l}{d}\right) + \frac{1}{2} \cdot \lg\left(\frac{4 \cdot t' + l}{4 \cdot t' - l}\right) \right], \quad (42)$$

где « $t' = t_0 + \frac{1}{2} \cdot l = 0.7 + \frac{1}{2} \cdot 5 = 3.2$ м;

$t_0 = 0,7$ - глубина заложения вершины вертикального заземлителя,
 l - длина стержня» [20].

$$R_c = \frac{0,366 \cdot 125}{5} \cdot \left[\lg\left(\frac{10}{0,012}\right) + \frac{1}{2} \cdot \lg\left(\frac{4 \cdot 3.2 + 5}{4 \cdot 3.2 - 5}\right) \right] = 28.36 \text{ Ом}.$$

«Число вертикальных заземлителей» [20]:

$$N_c = \frac{R_c}{R_3 \cdot n_c}, \quad (43)$$

где « $n_c = 0,78$ - коэффициент использования вертикальных заземлителей, расположенных по контуру» [20];

$$N_c = \frac{28,36}{0,5 \cdot 0,78} = 72,7 \approx 73 \text{ шт.}$$

«Сопротивление соединительной полосы» [20]:

$$R_{II} = \frac{0,366 \cdot \rho_{\text{расч.г}}}{L} \cdot \lg \left(\frac{L^2}{b \cdot t} \right), \quad (44)$$

где: L - периметр ПС;

$$R_{II} = \frac{0,366 \cdot 125}{48} \cdot \lg \left(\frac{48^2}{0,04 \cdot 0,7} \right) = 4,7 \text{ Ом},$$

Сопротивление контура заземления:

$$R_{ПК} = \frac{R_{II}}{n_{II}}, \quad (45)$$

где « n_{II} - коэффициент использования горизонтального полосового заземлителя»;

$$R_{ПК} = \frac{4,7}{0,26} = 18 \text{ Ом.}$$

Окончательное сопротивление вертикальных стержней:

$$R = \frac{R_{\text{ПК}} \cdot R_3}{R_{\text{ПК}} + R_3}, \quad (46)$$

$$R = \frac{18 \cdot 0,5}{18 + 0,5} = 0,48 \text{ Ом.}$$

Скорректированное число стержней:

$$N_c' = \frac{R_c}{R \cdot n_c}; \quad (47)$$

$$N_c' = \frac{28,36}{0,48 \cdot 0,78} = 75,7 \approx 76 \text{ шт.}$$

Вывод: окончательно принимаем к установке 76 стержней в контуре заземления, что позволяет обеспечить требуемое значение сопротивления контура заземления. Все стержни соединяются между собой при помощи полосового заземлителя.

Заключение

Цель работы заключалась в создании надежной системы электроснабжения группы цехов предприятия по производству выхлопных систем. Для этого были определены расчетные электрические нагрузки от электроприемников предприятия.

Расчеты освещения выполнялись в программном комплексе светотехнических расчетов DIALux Light. Суммарная полная расчетная нагрузка предприятия превысила 3 МВА.

Выбраны число и мощность трансформаторов на КТП предприятия, а также мощность компенсирующих устройств. Ввиду неравномерного распределения нагрузки по шинам 0,4 кВ цеховой ТП для компенсации РМ были выбраны установки различной мощности: одна конденсаторная установка КРМ-0,4-600-4УЗ и одна конденсаторная установка КРМ-0,4-450-4УЗ с общей мощностью компенсации до 1050 квар.

Для обеспечения электрической энергией электроприемников цеха в работе выбрана магистральная схема электроснабжения.

В качестве комплектной трансформаторной подстанции для питания электроприемников выбрана 2КТП – СЭЩ–П–1600/10/0,4 – 0,3 – УЗ производства завода Электроцит г. Самара.

Для питания отдельных электроприемников используем кабели ВВГнг различного сечения.

Выбраны шинопроводы, автоматические выключатели, трансформаторы тока. Однотипные расчеты электрических аппаратов сводились в итоговые таблицы.

Произведен расчёт токов короткого замыкания для четырех характерных точек электрической сети, который позволил получить максимальные значения токов.

Выбранные АВ проверены на электродинамическую стойкость. Для КТП выполнен расчет системы заземления.

Список используемых источников

1. Абрамова Е.Я., Алешина С.К., Чиндяскин В.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие по курсу ЭПП. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2015. 103 с.
2. Алиев И.И. Электротехника и электрооборудование: учебное пособие для вузов. Саратов: Вузовское образование, 2014. 1199 с.
3. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. 78 с. URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2976/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf (дата обращения: 12.12.2021).
4. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Системы электроснабжения [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. 46 с. URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2943/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf (дата обращения: 06.01.2022).
5. Дьяков А.Ф. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике: учебник для вузов. Москва : Издательский дом МЭИ, 2016. 543 с.
6. Кудрин Б.И. Электроснабжение: учебник. М.: Феникс, 2018. 382 с.
7. Мельников М.А. Электроснабжение промышленных предприятий: Учеб. пособие. Томск: Изд. ТПУ, 2001. 140 с.
8. Михайлов В.Е. Современная электросеть. СПб. : Наука и Техника, 2013. 256 с.
9. Правила устройства электроустановок ПУЭ-6 и ПУЭ-7. М.: Норматика, 2018. 462 с.
10. Савоськин В. С. Электроснабжение. Электроснабжение промышленных предприятий : учеб. пособие. Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2018. 256 с.

11. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий [Электронный ресурс]: учебник. 5-е изд., перераб. и доп. М. : ИНФРА-М, 2019. 405 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/1003810> (дата обращения: 15.02.2022).
12. Справочник инженера по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электрических станций и сетей. Централизованное и автономное электроснабжение объектов, цехов, промыслов, предприятий и промышленных комплексов [Электронный ресурс] : учеб. пособие. Вологда : "Инфра-Инженерия", 2016. 928 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/95768> (дата обращения: 16.05.2022).
13. Хорольский В.Я., Таранов М.А. Надежность электроснабжения: учеб. пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. 127 с.
14. Щербаков Е. Ф., Александров Д. С. Электрические аппараты: учебник. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2015. 304 с.
15. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С., Дубов А.Л. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: учебное пособие. М.: Форум, 2019. 496 с.
16. Bobby Rauf S. Electrical Engineering for Non-electrical Engineers. Lulu Press. Inc, 2015. 235 p.
17. IEEE Recommended Practice for Calculating Short-Circuit Currents in Industrial and Commercial Power Systems. IEEE Std 551. NY: IEEE, 2013. 300 p.
18. Khan S., Khan S., Ahmed G. Industrial power systems. Boca Raton: CRC Press, 2016. 488 p.
19. Usman M., Coppo M., Bignucolo F., Turri R., Cerretti, A. A novel methodology for the management of distribution network based on neutral losses allocation factors // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. 2019. №1. pp. 613-622.
20. Zhang Q., Tang W., Zaccour G., Zhang J. Should a manufacturer give up pricing power in a vertical information-sharing channel // European Journal of Operational Research. 2019. №276, pp. 910-928.