

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 «Электрооборудование и электрохозяйство корпуса по обработке
деталей»

Студент

Л.В. Мулярчук

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.А. Шаповалов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультант

А.В. Кириллова

(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 данной квалификационной работе на тему «Электрооборудование и электрохозяйство производства по обработке деталей» рассмотрены теоретические и практические решения по выбору электрооборудования для системы электроснабжения данного производства и обеспечения электрохозяйства.

Основанием для рассмотрения данного вопроса послужило задание на выполнение ВКР.

Определены цели и задачи выполнения квалификационной работы.

В данную работу включено:

- Анализ характерных особенностей нагрузки производства по обработке деталей;
- Произведены расчёты электрической нагрузки производства;
- Выбор типа и количества трансформаторов в цеховую трансформаторную подстанцию с учетом мероприятий по компенсации реактивной мощности;
- Расчет токов короткого замыкания с учетом особенностей схемных решений системы электроснабжения данного производства;
- Выбор электрооборудования для системы электроснабжения данного производства;
- Анализ мероприятий по обеспечению электрохозяйства данного производства.

Работа содержит в себе пояснительную записку объёмом 53 листов, и графическую часть выполненную на 6 листах формата А1.

ABSTRACT

In this qualification work on the topic "Electrical equipment and electrical facilities for the production of parts processing", theoretical and practical solutions for the selection of electrical equipment for the electric power supply system of the given production and provision of electric facilities are considered.

The basis for the consideration of this issue was the assignment for the implementation of qualification work on the topic.

The goals and tasks of performance of qualification work are determined.

This work includes:

- Analysis of the characteristic features of the work load in the processing of parts;
- Electricity production calculations have been made;
- Selection of the type and number of transformers in the workshop transformer substation taking into account measures for reactive power compensation;
- Calculation of short-circuit currents taking into account the features of circuit solutions of the power supply system of the given production;
- Selection of electrical equipment for the power supply system of this production;
- Analysis of measures to ensure the electrical economy of this production.

The work contains an explanatory note with a volume of 53 sheets, and the graphic part made on 6 sheets of A1 format.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОЖИДАЕМЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПО ЦЕХУ.....	6
1.1 ПРИВЕДЕНИЕ ВСЕХ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ К 3-ФАЗНОМУ ДЛИТЕЛЬНОМУ РЕЖИМУ.....	6
1.2 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ОСВЕЩЕНИЯ.....	8
1.3 СОСТАВЛЕНИЕ СВОДНОЙ ВЕДОМОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЦЕХА.....	11
2 ВЫБОР ЧИСЛА И МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ЦЕХОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ С УЧЕТОМ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ.....	14
3 ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И ПРОВОДНИКОВ.....	24
4 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ.....	39
5 ВЫБОР МЕТОДА И РАСЧЁТ ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ ТРАНСФОРМАТОРА.....	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	50
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	51

ВВЕДЕНИЕ

Каждое промышленное предприятие находится в состоянии непрерывного движения, либо в сторону развития: вводятся новые производственные площади, повышается использование существующего оборудования или старое оборудование заменяется новым, более производственным и мощным, изменяется технология и т. д.; или же наоборот предприятие движется в сторону банкротства, и происходят обратные процессы: сокращаются рабочие площади, оборудование используется с меньшей нагрузкой или же вовсе предприятие закрывается. Система электроснабжения промышленного предприятия (от ввода до конечных приемников электроэнергии) должна быть гибкой, допускать постоянные изменения мощности предприятий и изменение производственных условий.

Для цеха обработки деталей, который содержит станочное отделение с большим количеством станков средней мощности и низким коэффициентом использования, и термическим отделением с несколькими печами большой мощности и высоким коэффициентом использования; основной задачей является оптимизация параметров системы электроснабжения. Оптимизация достигается путем правильного определения электрических нагрузок; рационального выбора числа и мощности трансформаторов, конструкции промышленных сетей, средств компенсации реактивной мощности, проводников и защитного оборудования; расчёта токов к.з. и анализа их влияния на выбранное оборудование.

1 Определение ожидаемых электрических нагрузок по цеху

1.1 Приведение всех электроприемников к 3-фазному длительному режиму

Цех обработки деталей (ЦМ) является составной завода тяжелого машиностроения. «В цехе предусмотрено термическое отделение, в котором производится предварительная подготовка заготовок и окончательная подготовка готовых изделий. В станочном отделении установлены станки различного назначения. Транспортные операции производятся с помощью мостовых кранов и наземных электротележек. Также в цехе имеются вспомогательные, бытовые и служебные помещения» [20].

Количество рабочих смен - 2. Потребители ЦМ по надежности электро-снабжения - 2 и 3 категории.

Размеры цеха $A \times B \times H = 48 \times 30 \times 10$ м. Все помещения, кроме станочного и термического отделений, двухэтажные высотой 4 м.

Приведем нагрузки 3-х фазных ПКР к длительному режиму:

Для «краны мостовые»:

$$P_H = P_{\text{пасп}} \overline{P_B} = 45 \cdot 0,25 = 22,5 \text{ кВт}$$

Приведем нагрузку 1-фазного ПКР, включенную на линейное напряжение к длительному режиму и к условной 3-х фазной мощности:

Для «плоско-шлифовальные станки»

$$P_A = P_B = P_C = P_{\text{ф.нм}} = \frac{P_H + P_H}{2} = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ кВт}$$
$$H = \frac{P_{\text{ф.нб}} - P_{\text{ф.нм}}}{P_{\text{ф.нм}}} \cdot 10^2 = \frac{2 - 2}{2} \cdot 10^2 = 0\% < 15\%,$$

тогда при расчете будем считать данную группу 1-фазных электроприемников эквивалентной 3-фазным электроприемникам с той же мощностью

Для «вертикально-сверлильные станки»

$$P_A = P_B = P_{\phi.нб} = \frac{P_H + P_H}{2} = \frac{8 + 8}{2} = 8 \text{ кВт}$$

$$P_C = P_{\phi.нм} = \frac{P_H}{2} = \frac{8}{2} = 4 \text{ кВт}$$

$$H = \frac{P_{\phi.нб} - P_{\phi.нм}}{P_{\phi.нм}} \cdot 10^2 = \frac{8 - 4}{4} \cdot 10^2 = 100\% > 15\%,$$

тогда:

$$P_y = 3 \cdot P_{\phi.нб} = 3 \cdot 8 = 24 \text{ кВт}$$

Выполним предварительное распределение нагрузки по секциям (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Распределение нагрузки по секциям

Секция 1	Нагрузка приведенная, кВт		Секция 2
Итого	435,5	434,6	Итого

1.2 Расчет электрических нагрузок освещения

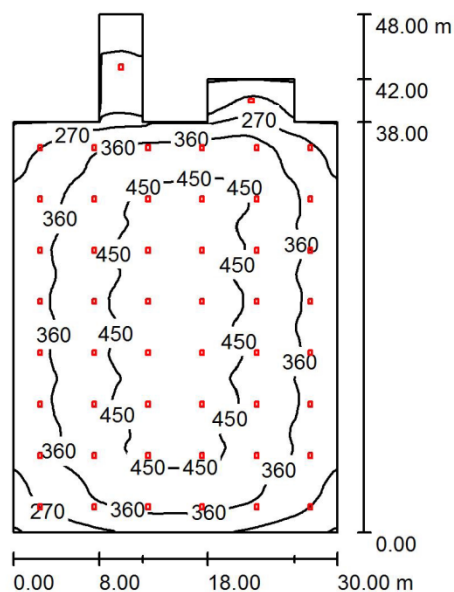
Все расчеты электрических нагрузок освещения цеха будем производить в программе «DIALux».

При вычислениях необходимы следующие данные: габариты помещений, нормированная освещённость и информация о характере производимых работ, высота подвеса и паспортные данные светильника (потребляемая мощность, количество ламп в светильнике, световой поток лампы и коэффициент использования светового потока), коэффициенты отражения (пола, потолка и стен) [10].

В ходе предварительного сравнения светильников для станочного и термического отделений с высотой цеха 10 метров, выбор остановился на светильниках компании «LightingTechnologies» типа «HBO 400H» и «HB 228 LED D120x40» с металлогалогенными и диодными лампами соответственно.

Для остальных помещений цеха с высотой 4 метра, были выбраны светильники компании «LightingTechnologies» типа «HBM 70»

Произведем сравнение светильников типа «HBO 400H» и «HB 228 LED D120x40» по ведомостям из программы «DIALux» (рисунки 2.1 и 2.2).



Высота помещения: 10.000 m, Монтажная высота: 10.000 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.50

Значения в Lux, Масштаб 1:617

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	371	44	489	0.119
Полы	32	359	43	473	0.120
Потолок	53	94	28	117	0.300
Стенки (12)	32	174	25	698	/

Рабочая плоскость:

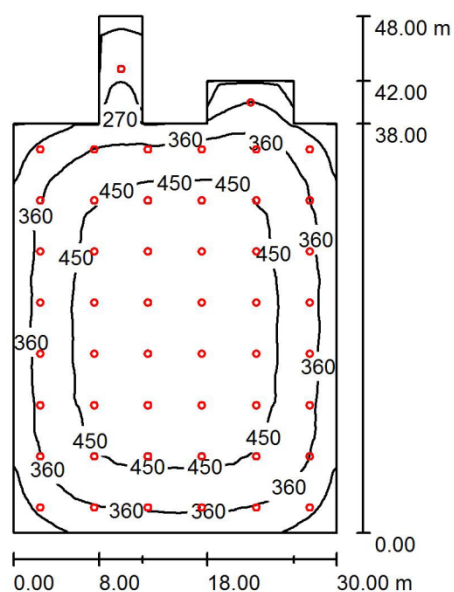
Высота: 1.000 m
Растр: 128 x 128 Точки
Краяевая зона: 0.000 m

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	50	LIGHTINGTECHNOLOGIES HB 228 LED D120x40 (1.000)	21768	21768	225.0
Всего:			1088400	1088400	11250.0

Удельная подсоединенная мощность: $9.28 \text{ W/m}^2 = 2.50 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 1212.00 m^2)

Рисунок 2.1 – Ведомость из «DIALux», по светильникам типа «HB 228 LED D120x40»



Высота помещения: 10.000 m, Монтажная высота: 10.000 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.50

Значения в Lux, Масштаб 1:617

Поверхность	ρ [%]	$E_{\text{ср}}$ [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$E_{\text{min}} / E_{\text{ср}}$
Рабочая плоскость	/	399	73	505	0.184
Полы	32	386	73	495	0.188
Потолок	53	115	34	207	0.299
Стенки (12)	32	179	28	316	/

Рабочая плоскость:

Высота: 1.000 m
Растр: 128 x 128 Точки
Краяевая зона: 0.000 m

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	50	LIGHTINGTECHNOLOGIES - HBO 400H IP23 (1.000)	23298	34000	400.0

Всего: 1164915 Всего: 1700000 20000.0

Удельная подсоединенная мощность: $16.50 \text{ W/m}^2 = 4.13 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 1212.00 m^2)

Рисунок 2.2 – Ведомость из «DIALux», по светильникам типа «HBO 400H»

На приведенных выше ведомостях из программы «DIALux» видно, что по освещенности данные типы светильников не уступают друг другу, а следовательно необходимо руководствоваться другими параметрами.

Диодные лампы экономичнее металлогалогенных в плане расхода электрической энергии в 1,8 раз, но стоимость диодных светильников превосходит стоимость металлогалогенных светильников более чем в 3 раза, и срок окупаемости при выборе в пользу диодных светильников составит

более 7 лет.

Таким образом, выбор ложится на светильники компании «LightingTechnologies» типа «НВО 400Н».

Для остальных помещений в программе «DIALux», было рассчитано количество светильников компании типа «НВМ 70», с планируемой освещенностью рабочей зоны $E_m = 300 \text{ lx}$.

Выбранные светильники и их количество занесем в сводную ведомость электрической нагрузки освещения цеха (таблица 3)

Таблица 3 – Сводная ведомость электрической нагрузки освещения цеха

Помещени е	Площад ь, м ²	Высот а, м	Светильн ик	количест во	ед. мощност ь, кВт	полная мощност ь, кВт
Станочно-термическое	1212	10	НВО 400Н IP 23	50	0,4	20
Склад	48	4	НВМ 70	8	0,07	0,56
Бытовка	32	4	НВМ 70	6	0,07	0,42
ТП	36	4	НВМ 70	8	0,07	0,56
Щитовая	24	4	НВМ 70	6	0,07	0,42
Вентиляц.	24	4	НВМ 70	6	0,07	0,42
Комната отдыха	40	4	НВМ 70	8	0,07	0,56
Инструмент.	24	4	НВМ 70	6	0,07	0,42
Всего	1440			98		23,36

1.3 Составление сводной ведомости электрических нагрузок цеха

При выполнении расчета электрической сети должно быть выполнено цеха по обработке деталей:

1. Надёжное обеспечение качественной электроэнергией всех потребителей данного производства;
2. Внедрение современных технических решений по обеспечению снижения трудоёмкости и финансовых затрат по обслуживанию данного участка электроснабжения;
3. Рациональное использование территории цеха;

4. Применять типовые прогрессивные проекты, серийное оборудование российского производства;

5. Охрана окружающей среды.

Необходимо предусмотреть возможность поэтапного развития схемы электроснабжения по мере роста нагрузки, без коренного изменения электросетевых сооружений на каждом этапе.

Систему электроснабжения выполняем таким образом, чтобы в нормальном режиме работы все элементы системы находились с максимально возможной нагрузочной способностью.

Для этого необходимо на первоначальном этапе провести расчет электрических нагрузок потребителей производства по обработке деталей.

Пример расчета нагрузок:

Пример для «кран мостовой»

$$P_{\text{см}} = K_{\text{и}} \cdot P_{\text{н}} = 0,2 \cdot 22,5 = 4,5 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 4,5 \cdot 1,73 = 7,8 \text{ квар}$$

Пример для ШМА1:

$$P_{\text{см}\Sigma} = P_{\text{см}} = 4,5 + 24,5 + 24 + 38,4 + 86,4 = 177,8 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{см}\Sigma} = Q_{\text{см}} = 7,8 + 42,4 + 0 + 102,9 + 53,6 = 206,7 \text{ квар}$$

$$S_{\text{см}\Sigma} = \sqrt{P_{\text{см}}^2 + Q_{\text{см}}^2} = \sqrt{177,8^2 + 206,7^2} = 272,7 \text{ кВА}$$

Определяем $K_{\text{и.ср}}$ – средний коэффициент использования, $\cos\varphi/\text{tg}\varphi$, для ШМА1

$$K_{\text{и.ср}} = \frac{P_{\text{см}\Sigma}}{P_{\text{н}\Sigma}} = \frac{177,8}{435,5} = 0,4$$

$$\cos\varphi = \frac{P_{\text{см}\Sigma}}{S_{\text{см}\Sigma}} = \frac{177,8}{272,7} = 0,65$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Q_{\text{см}}}{P_{\text{см}\Sigma}} = \frac{206,7}{177,8} = 1,16$$

Рассчитываем m – показатель силовой сборки в группе

$$m = \frac{P_{\text{н.нб}}}{P_{\text{н.нм}}} = \frac{48}{22,5} = 2,1$$

$$m < 3$$

Определяем n_3 – эффективное число электроприемников, по [1, стр. 23]

$$n_3 = F(n, m, K_{\text{и.ср}}, P_{\text{н}}) = F(14, <3, 0,4, \text{переменная}) = 14$$

По [1, стр. 24], принимаем $K_{\text{м}} = 1,32$, при $K_{\text{и}} = 0,4$ и $n_3 = 14$, а также в соответствии с практикой принимаем $K'_{\text{м}} = 1$, при $n_3 > 10$

Определяем максимальные расчетные нагрузки $P_{\text{м}}$, $Q_{\text{м}}$, $S_{\text{м}}$,

$$P_{\text{м}} = K_{\text{м}} \cdot P_{\text{см}} = 1,32 \cdot 177,8 = 234,7 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{м}} = K'_{\text{м}} \cdot Q_{\text{см}} = 1 \cdot 206,7 = 206,7 \text{ квар}$$

$$S_{\text{м}} = \sqrt{P_{\text{м}}^2 + Q_{\text{м}}^2} = \sqrt{234,7^2 + 206,7^2} = 312,7 \text{ кВА}$$

Определяем ток на РУ

$$I_{\text{м ШМА1}} = \frac{S_{\text{м ШМА1}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}} = \frac{312,7}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 475,1 \text{ А}$$

По аналогии рассчитываются параметры для ШМА2, РП1 и ЩО, но для РП1 и ЩО итоговый расчет не требуется, т.к. на них электроприемники одного наименования.

2 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности

В данном разделе будет осуществляться выбор трансформаторов для цеховой комплектной трансформаторной подстанции рассматриваемого объекта с учетом компенсации реактивной мощности.

Исходя из данных условий, принимаем два варианта установки цеховых трансформаторов:

1 Вариант: Один трансформатор ТМФ - 630/10/0,4

$$R_T = 3,1 \text{ мОм}; \quad \Delta P_{XX} = 1,05 \text{ кВт}$$

$$X_T = 13,6 \text{ мОм}; \quad \Delta P_{K3} = 7,6 \text{ кВт}$$

$$Z_T = 14 \text{ мОм}; \quad U_{K3} = 5,5 \%$$

$$Z_T^1 = 128 \text{ мОм}; \quad i_{XX} = 2\%$$

$$K_3 = \frac{S_{HH}}{S_T} = \frac{512,2}{630} = 0,81$$

2 вариант: Два трансформатора ТМФ - 400/10/0,4

$$R_T = 3,1 \text{ мОм}; \quad \Delta P_{XX} = 0,83 \text{ кВт}$$

$$X_T = 13,6 \text{ мОм}; \quad \Delta P_{K3} = 5,5 \text{ кВт}$$

$$Z_T = 14 \text{ мОм}; \quad U_{K3} = 4,5 \%$$

$$Z_T^1 = 128 \text{ мОм}; \quad i_{XX} = 2,1\%$$

$$K_3 = \frac{S_{HH}}{S_T} = \frac{512,2}{2 \cdot 400} = 0,64$$

В настоящее время компенсация реактивной мощности питающей сети, электроснабжающая потребителей с большой реактивной нагрузкой, является неотъемлемой частью системы надёжного и экономически

выгодного электроснабжения.

Так, как у цеховой трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ на секциях 0,4 кВ, основным потребителем являются асинхронные электродвигатели, произведем расчет и выбор КУ для 1 варианта.

Потери в цеховых трансформаторах производства по обработке деталей определяются по следующим исходным данным:

1 По количеству трансформаторов ц цеховой трансформаторной подстанции, N_T , шт;

2 Паспортным данным завода изготовителя, потери активной мощности, которые зависят от конструкционных особенностей исполнения обмоток трансформаторов, ΔP_T , кВт;

3 Паспортным данным завода изготовителя, потери реактивной мощности, которые зависят от конструкционных особенностей магнитопровода трансформаторов, ΔQ_T , квар.

Исходя из имеющейся информации, определим потери в трансформаторах:

$$\Delta P_T = N_T \cdot \Delta P_{xx} + K_3^2 \cdot \Delta P_{кз} = 1 \cdot (1,05 + 0,81^2 \cdot 7,6) = 6,0 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = N_T \cdot \Delta I_{xx} + K_3^2 \cdot \Delta P_{кз} \cdot \frac{S_H}{100} = 1 \cdot 2 + 0,81^2 \cdot 7,6 \cdot \frac{630}{100} = 44,0 \text{ квар,}$$

Цеховая нагрузка за самую загруженную смену с учетом потерь в трансформаторе:

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T = 380,1 + 6 = 386,1 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T = 341,9 + 44 = 385,9 \text{ квар}$$

Условие перетока реактивной мощности через трансформатор в часы минимальных нагрузок:

$$Q_{\min} = 50\% \cdot Q_p = 50\% \cdot 385,9 = 193 \text{ квар}$$

$$Q'_{\varepsilon 1} = Q_p - 0,7 \cdot Q_{\text{сд}} = 385,9 - 0 = 385,9 \text{ квар}$$

$$Q''_{\varepsilon 1} = \alpha \cdot P_p = 0,28 \cdot 386,1 = 108,1 \text{ квар},$$

где $\alpha = 0,28$; $Q_{\text{сд}} = 0$

Для условия перетока реактивной мощности через силовые трансформаторы в режиме работы при минимальных нагрузках: $Q_{\varepsilon 1} = 108,1$ квар:

$$Q'_{\varepsilon 2} = Q_{\min} + Q_k = 193 + 0 = 193 \text{ квар},$$

где $Q_k = 0$

$$\begin{aligned} Q''_{\varepsilon 2} &= Q_{\min} - Q_{\text{кд}} = Q_{\min} - Q_p - Q_{\varepsilon 1} = 193 - 385,9 - 108,1 = \\ &= -84,8 \text{ квар} \end{aligned}$$

Для условия перетока реактивной мощности через силовые трансформаторы в режиме работы при минимальных нагрузках принимаем: $Q_{\varepsilon 2} = 193$ квар:

$$Q_{\text{ку. max}} = 1,1 \cdot Q_p - Q_{\varepsilon 1} = 1,1 \cdot 385,9 - 108,1 = 316,4 \text{ квар}$$

$$Q_{\text{ку. min}} = Q_{\min} - Q_{\varepsilon 2} = 193 - 193 = 0 \text{ квар}$$

Определение минимального уровня перетока реактивной мощности необходимый для нормальной работы электрооборудования:

$$Q_{\varepsilon \text{н}} = Q_{\varepsilon 1} - Q_p - Q_{\text{р}\Sigma} = 108,1 - 385,9 - 341,9 = 64,1 \text{ квар}$$

Определение минимального уровня перетока реактивной мощности необходимый для нормальной работы электрооборудования напряжением до 1кВ:

$$Q_T = \sqrt{N_T \cdot K_3 \cdot S_{H.T}^2 - P_{p\Sigma}^2} = \sqrt{1 \cdot 0,81 \cdot 630^2 - 380,1^2} = 340,5 \text{ квар}$$

Мощность батарей конденсаторов, устанавливаемых на стороне НН силового трансформатора:

$$Q_{\text{ку.н}} = Q_{p\Sigma} - Q_T = 341,9 - 340,5 = 1,4 \text{ квар}$$

Так как $Q_{\text{ку.н}} < 100$ квар, установка батарей конденсаторов на стороне до 0,4 кВ не требуется.

Проверим необходимость установки КУ на стороне ВН питающей сети цеховую трансформаторную подстанцию 10 кВ:

$$Q_{\text{ку.в}} = Q_{\text{ку.маx}} - Q_{\text{ку.н}} = 316,4 - 1,4 = 315 \text{ квар}$$

Так как $Q_{\text{ку.в}} < 800$ квар, установка батарей конденсаторов на стороне 10 кВ не требуется.

Выполним проверку соответствия коэффициента реактивной мощности $\text{tg}\varphi$, по ПУЭ он должен быть равен приблизительно 0,33.

Перенесем из сводной ведомости в таблицу 2.1, результирующие нагрузки цеха.

Таблица 2.1 – Результирующие нагрузки цеха по обработке деталей

Расчетный параметр в соответствии с ВКР	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	P_M , кВт	Q_M , квар	S_M , кВА
Всего на НН без КУ	0,74	0,90	380,1	341,9	512,2

Определим расчетную мощность КУ

$$Q_{\text{к.р.}} = \alpha \cdot P_M \cdot \text{tg}\varphi - \text{tg}\varphi_k = 0,9 \cdot 380,1 \cdot 0,90 - 0,33 = 195,0 \text{ квар}$$

Выбираем компенсирующее устройство: 2хКРМ-0,4-100-25УЗ

Определим фактическое значение $\text{tg}\varphi_k$ и занесем результат в таблицу 6

$$\text{tg}\varphi_k = \text{tg}\varphi - \frac{Q_{\text{к.ст.}}}{\alpha \cdot P_M} = 0,90 - \frac{2 \cdot 100}{0,9 \cdot 380,1} = 0,32$$

Таблица 2.2 – Сводная ведомость результирующей нагрузки цеха с учетом КУ

Расчетные параметры в соответствии с выбором КУ	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	P_M , кВт	Q_M , квар	S_M , кВА
Всего на НН без КУ	0,74	0,90	380,1	341,9	512,2
КУ				2х100	
Всего на НН с КУ	0,94	0,32	380,1	141,9	405,7
Потери			8,1	40,6	41,4
Всего ВН с КУ			388,2	182,5	447,1

Определим потери в трансформаторе ТМФ-630/10/0,4

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{M \text{ НН}} = 0,02 \cdot 405,7 = 8,1 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{M \text{ НН}} = 0,1 \cdot 405,7 = 40,6 \text{ квар}$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{8,1^2 + 40,6^2} = 41,4 \text{ кВА}$$

$$S_T \geq S_P = 0,7 \cdot S_{M \text{ ВН}} = 0,7 \cdot 447,1 = 313,0 \text{ кВА}$$

$$K_3 = \frac{S_{\text{НН}}}{S_T} = \frac{405,7}{630} = 0,59$$

Рассчитаем затраты на установку КТП с одним трансформатором ТМФ630/10/0,4 и двумя КУ:

Затраты на установку компенсирующих устройств 2хКРМ-0,4-100-25УЗ

$$Z_{\text{КУ}} = E \cdot K_y \cdot \frac{U^2}{U_{\text{БК}}} \cdot Q + C_0 \cdot P_{\text{БК}} \cdot Q + E_p \cdot K_p \cdot n =$$

$$= 0,223 \cdot 960 \cdot \frac{1}{1}^2 \cdot 0,2 + 4,8 \cdot 4,5 \cdot 0,2 + 0,27 \cdot 45,5 \cdot 2 = 42,8 + 4,3 + 24,6 =$$

$$= 71,7 \text{ тыс. руб}$$

Затраты на установку КТП с трансформатором ТМФ-630/10/0,4

$$З_{\text{КТП}} = E \cdot K_{\text{ТП}} + C \cdot \Delta P_T = 0,223 \cdot 320 + 286,3 = 357,7 \text{ тыс. руб}$$

$$C \cdot \Delta P_T = C_0 \cdot \Delta P_{\text{xx}} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{\text{кз}} = 148,9 \cdot 1,05 + 49,1 \cdot 0,59^2 \cdot 7,6 = 286,3$$

$$C = \frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \cdot \tau = \frac{36}{4500} + 0,9 \cdot 10^{-2} \cdot 2886,2 = 49,1 \text{ руб/кВт} \cdot \text{год}$$

$$C_0 = \frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \cdot T_p = \frac{36}{4500} + 0,9 \cdot 10^{-2} \cdot 8760 =$$

$$= 148,9 \text{ руб/кВт} \cdot \text{год}$$

$$\tau = 0,124 + \frac{T_M}{10000}^2 \cdot T_p = 0,124 + \frac{4500}{10000}^2 \cdot 8760 = 2886,2 \text{ ч}$$

Суммарные затраты на установку КТП:

$$З_{\text{общ1}} = З_{\text{КТП}} + З_{\text{КУ}} = 357,7 + 71,7 = 429,4 \text{ тыс. руб}$$

Произведем расчет и выбор КУ для 2 варианта:

Два трансформатора ТМФ-400/10/0,4

$$R_T = 3,1 \text{ мОм}; \quad \Delta P_{\text{xx}} = 0,83 \text{ кВт}$$

$$X_T = 13,6 \text{ мОм}; \quad \Delta P_{\text{кз}} = 5,5 \text{ кВт}$$

$$Z_T = 14 \text{ мОм}; \quad U_{\text{кз}} = 4,5 \%$$

$$Z_T^1 = 128 \text{ мОм}; \quad i_{\text{xx}} = 2,1\%$$

$$K_3 = \frac{S_{\text{HH}}}{S_T} = \frac{512,2}{2 \cdot 400} = 0,64$$

Определяем уровень потерь в трансформаторе:

$$\Delta P_T = N_T \cdot \Delta P_{xx} + K_3^2 \cdot \Delta P_{кз} = 2 \cdot (0,83 + 0,64^2 \cdot 5,5) = 6,2 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = N_T \cdot \Delta I_{xx} + K_3^2 \cdot \Delta P_{кз} \cdot \frac{S_H}{100} = 2 \cdot 2,1 + 0,64^2 \cdot 5,5 \cdot \frac{400}{100} = 34,8 \text{ квар}$$

Определяем максимальную нагрузку по производству с учетом уровня потерь:

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T = 380,1 + 6,2 = 386,3 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T = 341,9 + 34,8 = 376,7 \text{ квар}$$

Уровень перетока реактивной мощности в часы минимума нагрузки и максимума нагрузки:

$$Q_{\min} = 50\% \cdot Q_p = 50\% \cdot 376,7 = 188,4 \text{ квар}$$

$$Q'_{\varepsilon 1} = Q_p - 0,7 \cdot Q_{сд} = 376,7 - 0 = 376,7 \text{ квар}$$

$$Q''_{\varepsilon 1} = \alpha \cdot P_p = 0,28 \cdot 386,3 = 108,2 \text{ квар},$$

где $\alpha = 0,28$; $Q_{сд} = 0$

Принимаем меньшее из значений: $Q_{\varepsilon 1} = 108,2$ квар исходя из уровня перетоков реактивной мощности

Значения перетоков реактивной мощности:

$$Q'_{\varepsilon 2} = Q_{\min} + Q_k = 188,4 + 0 = 188,4 \text{ квар},$$

где $Q_k = 0$

$$Q''_{\varepsilon 2} = Q_{\min} - Q_{кд} = Q_{\min} - Q_p - Q_{\varepsilon 1} = 188,4 - 376,7 - 108,2 = -80,1 \text{ квар}$$

Принимаем большее значение мощности: $Q_{\Sigma 2} = 188,4$ квар для учета перетока по реактивной мощности.

Суммарная мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{\text{ку.мах}} = 1,1 \cdot Q_p - Q_{\Sigma 1} = 1,1 \cdot 376,7 - 108,2 = 306,2 \text{ квар}$$

$$Q_{\text{ку.мин}} = Q_{\text{мин}} - Q_{\Sigma 2} = 188,4 - 188,4 = 0 \text{ квар}$$

Уровень перетока реактивной мощности 6/10 кВ через силовые цеховые трансформаторы 1кВ:

$$Q_{\Sigma \text{Н}} = Q_{\Sigma 1} - Q_p - Q_{p\Sigma} = 108,2 - 376,7 - 341,9 = 73,4 \text{ квар}$$

Определение уровня перетока реактивной мощности из сети 6/10 кВ в сеть напряжением до 1кВ через силовые трансформаторы:

$$Q_T = \sqrt{N_T \cdot K_3 \cdot S_{\text{н.т}}^2 - P_{p\Sigma}^2} = \sqrt{2 \cdot 0,64 \cdot 400^2 - 380,1^2} = 343,0 \text{ квар}$$

Мощность КУ, устанавливаемых на стороне до 1кВ:

$$Q_{\text{ку.н}} = Q_{p\Sigma} - Q_T = 341,9 - 343,0 = -1,1 \text{ квар}$$

Так как $Q_{\text{ку.н}} < 100$ квар, установка батарей конденсаторов на стороне НН цеховой трансформаторной подстанции 0,4кВ не требуется.

Проверка для питающей сети на стороне 10 кВ:

$$Q_{\text{ку.в}} = Q_{\text{ку.мах}} - Q_{\text{ку.н}} = 316,4 + 1,1 = 317,5 \text{ квар}$$

Для 1 варианта уже была проведена проверка соответствия коэффициента реактивной мощности $\text{tg}\varphi$ ПУЭ, а следовательно для 2

варианта тоже необходима установка двух компенсирующих устройств КРМ-0,4-100-25УЗ

С учетом компенсации реактивной мощности коэффициент загрузки станет равным:

$$K_3 = \frac{S_{HH}}{S_T} = \frac{405,7}{800} = 0,5$$

Рассчитаем затраты на установку КТП с двумя трансформаторами ТМФ400/10/0,4 и двумя КУ:

Затраты на установку компенсирующих устройств 2хКРМ-0,4-100-25УЗ

Затраты на установку КУ 2хКРМ-0,4-100-25УЗ берутся из расчетов для 1 варианта:

$$\begin{aligned} Z_{КУ} &= E \cdot K_y \cdot \frac{U}{U_{БК}}^2 \cdot Q + C_0 \cdot P_{БК} \cdot Q + E_p \cdot K_p \cdot n = \\ &= 0,223 \cdot 960 \cdot \frac{1}{1}^2 \cdot 0,2 + 4,8 \cdot 4,5 \cdot 0,2 + 0,27 \cdot 45,5 \cdot 2 = 42,8 + 4,3 + 24,6 = \\ &= 71,7 \text{ тыс. руб} \end{aligned}$$

Затраты на установку КТП с двумя трансформаторами ТМФ-400/10/0,4

$$Z_{КТП} = n \cdot (E \cdot K_{ТП} + C \cdot \Delta P_T) = 2 \cdot (0,223 \cdot 220 + 191,1) = 480,3 \text{ тыс. руб}$$

$$C \cdot \Delta P_T = C_0 \cdot \Delta P_{xx} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{кз} = 148,9 \cdot 0,83 + 49,1 \cdot 0,5^2 \cdot 5,5 = 191,1$$

$$C = \frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \cdot \tau = \frac{36}{4500} + 0,9 \cdot 10^{-2} \cdot 2886,2 = 49,1 \text{ руб/кВт} \cdot \text{год}$$

$$\begin{aligned} C_0 &= \frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \cdot T_p = \frac{36}{4500} + 0,9 \cdot 10^{-2} \cdot 8760 = \\ &= 148,9 \text{ руб/кВт} \cdot \text{год} \end{aligned}$$

$$\tau = 0,124 + \frac{T_M}{10000}^2 \cdot T_p = 0,124 + \frac{4500}{10000}^2 \cdot 8760 = 2886,2 \text{ ч}$$

Суммарные затраты на установку КТП:

$$З_{\text{общ}2} = З_{\text{КТП}} + З_{\text{КУ}} = 480,3 + 71,7 = 552 \text{ тыс. руб}$$

Сравним суммарные затраты на установку КТП для 1 и 2 вариантов:

$$(З_{\text{общ}1} = 429,4 \text{ тыс. руб}) < (З_{\text{общ}2} = 552 \text{ тыс. руб})$$

Следовательно, выбираем 1 вариант с одним трансформатором ТМФ-630/10/0,4 и двумя компенсирующими устройствами КРМ-0,4-100-25УЗ

Выбранная мощность компенсирующей установки подходит для использования в расчётной питающей сети.

Минимальной величиной изменения значения реактивной мощности компенсирующей установки – является ступенью регулирования реактивной мощности, зависимость которой зависит от нагрузки подключенной к шинам цеховой подстанции. Если произойдёт уменьшение активной нагрузки, то и должна уменьшаться и реактивная мощность компенсирующего устройства.

При расчёте ступени регулирования реактивной мощности нужно учесть, что снижение активной нагрузки, значение реактивной нагрузки на шинах может оказаться меньше значения ступени регулирования КУ, и $\text{tg}\phi$ выйдет за границ и допустимых значений максимальных и минимальных значений.

Для предотвращения работы компенсирующего устройства в режиме перекомпенсации реактивной мощности КРМ-0,4-100-25УЗ имеет ступень регулирования с шагом ступени 25 квар.

3 Предварительный выбор электрооборудования и проводников

Площадь сечения токопроводящих жил проводников:

1. По экономической плотности тока в линии;
2. По потере напряжения в линии, нормальном и ремонтном режиме;

Сечение жилы в кабеле по экономической плотности тока рассчитываем по выражению 3.1:

$$S_{\text{эк.}} = \frac{I_{\text{расч.}}}{j_{\text{эк}}} \quad (3.1)$$

где $I_{\text{расч.}}$ – расчетный длительный ток в линии;

$j_{\text{эк}}$ – экономическую плотность тока, рассчитываем согласно требованиям ПУЭ: для алюминиевого провода равное 1,1 А/мм², для кабеля с поливинилхлоридной изоляцией и медными жилами равное 3,1 А/мм².

Определяем расчетный длительный ток в кабельных линиях по формуле 3.2; 3.3; 3.4.

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{ном.Тр}} \times K_{\text{пер.Тр}}}{\sqrt{3} \times U_{\text{ном}}}, \quad (3.2)$$

$$I_{\text{расч.}} = \frac{S_{\text{расч.}}}{\sqrt{3} \times U_{\text{ном}}}, \quad (3.3)$$

где $S_{\text{ном.Тр}}$ – мощность силового трансформатора в послеаварийном режиме, с разрешённой 40 % перегрузкой;

$S_{\text{расч.}}$ – расчетная мощность предприятия;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение электросети.

$$I_{\text{доп.}} = \frac{I_{\text{расч}}}{k_{\text{пер.}} \times k_{\text{сниж.}} \times k'}, \quad (3.4)$$

где $k_{\text{пер.}}$ – коэффициент перегрузки для кабеля с ПВХ изоляцией, согласно ПУЭ продолжительностью до 6 часов равен 15%; [5]

$k_{\text{сниж}}$ – коэффициент снижения, зависящий от температуры окружающей среды (+15) °С и нормированной температуры жил кабеля из ПВХ изоляции равный (+80)°С, равен 1;

k – коэффициент, зависимости от количества проложенных кабельных линий в одной траншее, в данном случае два кабеля проложенных в одной траншее с расстоянием между кабелями 300 мм., равен 0,93.

Выбранное сечения жилы кабеля по нагреву, должно удовлетворять условие:

$$I_{\text{расч. макс}} \leq I_{\text{доп}}, \quad (3.5)$$

где $I_{\text{расч. макс}}$ – максимальный расчетный ток в линии, в ремонтном или послеаварийном режиме.

Для расчета токов короткого замыкания на разных участках сети внутрицехового электроснабжения необходимо знать параметры всех элементов сети.

Предварительный выбор электрооборудования и проводников выполним по расчетным значениям номинальных токов.

Выбор шинопроводов:

Вместо ШМА1 по расчетному току $I_p=475,1$ А, выбираем ШРА1 сечением 80х5, номинальный ток 630 А.

Вместо ШМА2 по расчетному току $I_p=215,7$ А, выбираем ШРА2, сечением 35х5, номинальный ток 250 А.

Выбор защитной аппаратуры:

Защиту электроприемников выполним автоматическими выключателями.

Для селективного отключения токов КЗ выключателями, уставки токов отключения срабатывания чувствительных элементов выключателей производим от наиболее удалённых потребителей.

Для защиты КЛ, выбираем автоматические выключатели с тепловым и электромагнитным расцепителем комбинированного типа. Электромагнитный расцепитель, предназначен для защиты защищаемого участка от перегрузки, а электромагнитный расцепитель от токов КЗ. К установке принимаем автоматические выключатели отечественного производителя.

При защите питающей линии от перегрузки, ток теплового расцепителя автоматического выключателя рассчитываем по выражению:

$$I_{Т.расц.} \geq k_n I_{КЛ\ расч.} \quad (3.6)$$

где $I_{Т.расц.}$ – ток срабатывания теплового расцепителя;

$I_{КЛ\ расч.}$ – расчётный ток КЛ;

k_n – коэффициент надёжности защиты, равен 1,05 – для потребителей без пусковых токов; от 1,2 до 1,35 – для электродвигателей с пусковыми токами.

Ток уставки электромагнитного расцепителя для исключения срабатывать при пусковых токах электродвигателя:

$$I_{Эл.расц.} \geq 1,25 \div 1,35 \times I_{пуск} \quad (3.7)$$

$$I_{Эл.расц.} \geq 1,35 \times I_{расч.} \quad (3.8)$$

где $I_{Эл.расц.}$ – ток срабатывания электромагнитного расцепителя;

$I_{пуск}$ – пусковой ток электродвигателя.

Пусковой ток асинхронного электродвигателя рассчитываем по выражению:

$$I_{\text{пуск}} = k \times I_{\text{ном.}}, \quad (3.9)$$

k – кратность пускового тока находится в пределах от 5 до 7 и зависит от загрузки электродвигателя.

В зависимости от назначения срабатывания защиты, от токов КЗ или от перегрузки кабельной линии током нагрузки, согласно ПУЭ коэффициент соотношения между током уставки защиты и допустимым током провода, должно соответствовать требованию:

$$I_{\text{доп}} \geq k_{\text{защ}} I_{\text{Эл.расц.}}, \quad (3.10)$$

$$I_{\text{доп}} \geq k_{\text{защ}} I_{\text{ном.пл.вст}}, \quad (3.11)$$

где $I_{\text{доп}}$ – допустимый ток линии ограниченный пропускной способностью линии.

Для защиты от токов КЗ,

$k_{\text{защ}}$ равен 0,22 для автоматов с электромагнитными расцепителями.

Для защиты от перегруза:

$$I_{\text{доп}} \geq k_{\text{защ}} I_{\text{Т.расц.}}, \quad (3.12)$$

Исходя из расчётных токов нагрузки и токов короткого замыкания рассчитаем данные тепловых расцепителей и токовой отсечки автоматических выключателей для защиты сети 0,4 кВ.

Пример расчета тока и выбора выключателей:

Линия Т1-ШНН, 1SF, линия без ЭД

$$I_{\text{Т}} = \frac{S_{\text{Т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{Н}}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 909 \text{ А}$$

$$I_{н.а} \geq I_{н.р} \geq I_T \geq 909 \text{ A}$$

Выбираем ВА 53-41-3

$$V_{н.а} = 380 \text{ В}$$

$$I_{н.а} = 1000 \text{ A}$$

$$I_{н.р} = 1000 \text{ A}$$

$$I_{y(п)} = 1,25 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{y(кз)} = 2 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{откл} = 25 \text{ кА}$$

Линия ШНН - ШРА1, SF1, линия с группой ЭД

$$I_M = 475,1 \text{ A}$$

$$I_{н.а} \geq I_{н.р} \geq 1,1 \cdot I_M = 1,1 \cdot 475,1 \text{ A} = 522,6 \text{ A}$$

Выбираем ВА 55-39-3

$$V_{н.а} = 380 \text{ В}$$

$$I_{н.а} = 630 \text{ A}$$

$$I_{н.р} = 630 \text{ A}$$

$$I_{y(п)} = 1,25 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{y(кз)} = 3 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{откл} = 25 \text{ кА}$$

$$I_{н.нб} = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{48}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,85 \cdot 0,6} = 135,8 \text{ A}$$

$$I_{п.нб} = 6,5 \cdot I_{н.нб} = 6,5 \cdot 135,8 = 883,0 \text{ A}$$

$$I_{пик} = I_{п.нб} + I_M - I_{н.нб} \cdot K_H = 883,0 + 475,1 - 135,8 \cdot 0,6 = 1276,6 \text{ A}$$

$$I_o \geq 1,25 \cdot I_{пик} = 1,25 \cdot 1276,6 = 1595,8 \text{ A}$$

$$K_o \geq \frac{I_o}{I_{н.р}} = \frac{1595,8}{630} = 2,5$$

Принимаем $K_0=3$

Линия ШНН – ШРА2, SF2, линия с группой ЭД

$$I_M = 215,7 \text{ A}$$

$$I_{н.а} \geq I_{н.р} \geq 1,1 \cdot I_M = 1,1 \cdot 215,7 \text{ A} = 237,3 \text{ A}$$

Выбираем ВА 51-35-3

$$V_{н.а} = 380 \text{ В}$$

$$I_{н.а} = 250 \text{ A}$$

$$I_{н.р} = 250 \text{ A}$$

$$I_{y(п)} = 1,25 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{y(кз)} = 12 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{откл} = 15 \text{ кА}$$

Линия ШРА1 – кран мостовой, SF линия с одним ЭД

$$I_d = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{22,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,5 \cdot 0,9} = 72,2 \text{ A}$$

$$I_{н.а} \geq I_{н.р} \geq 1,25 \cdot I_d = 1,25 \cdot 72,2 \text{ A} = 90,2 \text{ A}$$

Выбираем ВА 52-31-3

$$V_{н.а} = 380 \text{ В}$$

$$I_{н.а} = 100 \text{ A}$$

$$I_{н.р} = 100 \text{ A}$$

$$I_{y(п)} = 1,25 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{y(кз)} = 7 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{откл} = 25 \text{ кА}$$

$$I_o \geq 1,2 \cdot I_{п} = 1,2 \cdot 6,5 \cdot 72,2 = 563,2$$

$$K_o \geq \frac{I_o}{I_{н.р}} = \frac{563,2}{100} = 5,6,$$

принимаем $K_0=7$

Аналогично для всех оставшихся электроприемников:

Линия ШНН – РП, SF3, с одним электроприемником:

Расчетный ток 45,6 А

Выбираем ВА 52Г-31-3

$$V_{н.а} = 380 \text{ В}$$

$$I_{н.а} = 100 \text{ А}$$

$$I_{н.р} = 50 \text{ А}$$

$$I_{у(п)} = 1,35 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{у(кз)} = 7 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{откл} = 18 \text{ кА}$$

Электрическая печь сопротивления:

Расчетный ток 77,3 А

Выбираем ВА 52Г-31-3

$$V_{н.а} = 380 \text{ В}$$

$$I_{н.а} = 100 \text{ А}$$

$$I_{н.р} = 80 \text{ А}$$

$$I_{у(п)} = 1,25 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{у(кз)} = 7 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{откл} = 25 \text{ кА}$$

Электрические печи индукционные:

Расчетный ток 183,3 А

Выбираем ВА 52-35-3

$$V_{н.а} = 380 \text{ В}$$

$$I_{н.а} = 250 \text{ А}$$

$$I_{н.р} = 200 \text{ А}$$

$$I_{у(п)} = 1,25 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{у(кз)} = 12 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{откл} = 30 \text{ кА}$$

Электродуговые печи:

Расчетный ток 169,8 А

Выбираем ВА 52-35-3

$$V_{н.а} = 380 \text{ В}$$

$$I_{н.а} = 250 \text{ А}$$

$$I_{н.р} = 200 \text{ А}$$

$$I_{у(п)} = 1,25 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{у(кз)} = 12 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{откл} = 30 \text{ кА}$$

Токарно-револьверные станки:

Расчетный ток 100,3 А

Выбираем ВА 52Г-33-3

$$V_{н.а} = 380 \text{ В}$$

$$I_{н.а} = 160 \text{ А}$$

$$I_{н.р} = 125 \text{ А}$$

$$I_{у(п)} = 1,25 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{у(кз)} = 10 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{откл} = 35 \text{ кА}$$

Плоско-шлифовальные станки:

Расчетный ток 20,1 А

Выбираем ВА 52-31-3

$$V_{н.а} = 380 \text{ В}$$

$$I_{н.а} = 100 \text{ А}$$

$$I_{н.р} = 25 \text{ А}$$

$$I_{у(п)} = 1,35 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{у(кз)} = 7 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{откл} = 12 \text{ кА}$$

Продольно строгальные станки:

Расчетный ток 65,0 А

Выбираем ВА 52Г-31-3

$$V_{н.а} = 380 \text{ В}$$

$$I_{н.а} = 100 \text{ A}$$

$$I_{н.р} = 80 \text{ A}$$

$$I_{у(п)} = 1,25 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{у(кз)} = 7 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{откл} = 25 \text{ кА}$$

Токарные станки:

Расчетный ток 68,2 А

Выбираем ВА 52Г-31-3

$$V_{н.а} = 380 \text{ В}$$

$$I_{н.а} = 100 \text{ A}$$

$$I_{н.р} = 80 \text{ A}$$

$$I_{у(п)} = 1,25 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{у(кз)} = 7 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{откл} = 25 \text{ кА}$$

Вертикально-сверлильные станки:

Расчетный ток 32,1 А

Выбираем ВА 52Г-31-3

$$V_{н.а} = 380 \text{ В}$$

$$I_{н.а} = 100 \text{ A}$$

$$I_{н.р} = 40 \text{ A}$$

$$I_{у(п)} = 1,35 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{у(кз)} = 7 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{откл} = 15 \text{ кА}$$

Расточный станок:

Расчетный ток 32,1 А

Выбираем ВА 52Г-31-3

$$V_{н.а} = 380 \text{ В}$$

$$I_{н.а} = 100 \text{ A}$$

$$I_{н.р} = 40 \text{ A}$$

$$I_{у(п)} = 1,35 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{y(кз)} = 7 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{откл} = 15 \text{ кА}$$

Фрезерные станки:

Расчетный ток 48,1 А

Выбираем ВА 52Г-31-3

$$V_{н.а} = 380 \text{ В}$$

$$I_{н.а} = 100 \text{ А}$$

$$I_{н.р} = 50 \text{ А}$$

$$I_{y(п)} = 1,35 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{y(кз)} = 7 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{откл} = 18 \text{ кА}$$

Радиально-сверлильные станки:

Расчетный ток 60,2 А

Выбираем ВА 52Г-31-3

$$V_{н.а} = 380 \text{ В}$$

$$I_{н.а} = 100 \text{ А}$$

$$I_{н.р} = 63 \text{ А}$$

$$I_{y(п)} = 1,35 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{y(кз)} = 7 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{откл} = 18 \text{ кА}$$

Вентиляторы:

Расчетный ток 45,6 А

Выбираем ВА 52Г-31-3

$$V_{н.а} = 380 \text{ В}$$

$$I_{н.а} = 100 \text{ А}$$

$$I_{н.р} = 50 \text{ А}$$

$$I_{y(п)} = 1,35 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{y(кз)} = 7 \cdot I_{н.р}$$

$$I_{откл} = 18 \text{ кА}$$

Освещение:

Расчетный ток 39,7 А

Выбираем ВА 52Г-31-3

$V_{н.а} = 380 \text{ В}$

$I_{н.а} = 100 \text{ А}$

$I_{н.р} = 40 \text{ А}$

$I_{у(п)} = 1,35 \cdot I_{н.р}$

$I_{у(кз)} = 7 \cdot I_{н.р}$

$I_{откл} = 15 \text{ кА}$

Выбор кабельных линий:

Для прокладки в воздухе, в помещениях с нормальной зоной опасности при отсутствии механических повреждений выбирается кабель марки АВВГ и ВВГ с алюминиевыми и медными жилами соответственно, $K_{зщ} = 1$

Пример расчета тока для выбора проводников:

Для системы (воздушная линия)

$$I_c = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_c} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,4 \text{ А}$$

Выбираем АС-3х10/1,8; $I_{доп} = 84 \text{ А}$

Линия ШНН - ШРА1, SF1:

$$I_{доп} \geq K_{зщ} \cdot I_{у п} = 1 \cdot 1,25 \cdot 630 = 787,5 \text{ А}$$

Выбираем ВВГ-3 (3х95), $I_{доп} = 3 \cdot 274 = 822 \text{ А}$

Линия ШНН – ШРА2, SF2:

$$I_{доп} \geq K_{зщ} \cdot I_{у п} = 1 \cdot 1,25 \cdot 250 = 312,5 \text{ А}$$

Выбираем ВВГ (3х120), $I_{доп} = 321 \text{ А}$

Линия ШНН – РП, SF3:

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{у п}} = 1 \cdot 1,35 \cdot 50 = 67,5 \text{ А}$$

Выбираем АВВГ (3х25), $I_{\text{доп}} = 88 \text{ А}$

Кран мостовой:

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{у п}} = 1 \cdot 1,25 \cdot 100 = 125 \text{ А}$$

Выбираем АВВГ (3х50), $I_{\text{доп}} = 136 \text{ А}$

Вентиляторы:

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{у п}} = 1 \cdot 1,35 \cdot 50 = 67,5 \text{ А}$$

Выбираем АВВГ (3х25), $I_{\text{доп}} = 88 \text{ А}$

Освещение:

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{у п}} = 1 \cdot 1,35 \cdot 40 = 54 \text{ А}$$

Выбираем АВВГ (3х16), $I_{\text{доп}} = 67 \text{ А}$

Радиально-сверлильные станки:

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{у п}} = 1 \cdot 1,35 \cdot 63 = 85,1 \text{ А}$$

Выбираем АВВГ (3х25), $I_{\text{доп}} = 88 \text{ А}$

Фрезерные станки:

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{у п}} = 1 \cdot 1,35 \cdot 50 = 67,5 \text{ А}$$

Выбираем АВВГ (3х25), $I_{\text{доп}} = 88 \text{ А}$

Расточный станок:

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{у п}} = 1 \cdot 1,35 \cdot 40 = 54 \text{ А}$$

Выбираем АВВГ (3х16), $I_{\text{доп}} = 67 \text{ А}$

Вертикально-сверлильные станки (1 фазный ЭД):

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{у п}} = 1 \cdot 1,35 \cdot 40 = 54 \text{ А}$$

Выбираем АВВГ (2х10), $I_{\text{доп}} = 58 \text{ А}$

Токарные станки:

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{у п}} = 1 \cdot 1,25 \cdot 80 = 100 \text{ А}$$

Выбираем АВВГ (3х35), $I_{\text{доп}} = 109 \text{ А}$

Продольно строгальные станки:

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{у п}} = 1 \cdot 1,25 \cdot 80 = 100 \text{ А}$$

Выбираем АВВГ (3х35), $I_{\text{доп}} = 109 \text{ А}$

Плоско-шлифовальные станки:

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{у п}} = 1 \cdot 1,35 \cdot 100 = 135 \text{ А}$$

Выбираем АВВГ (3х50), $I_{\text{доп}} = 136 \text{ А}$

Токарно-револьверные станки:

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{у п}} = 1 \cdot 1,25 \cdot 125 = 156,3 \text{ А}$$

Выбираем АВВГ (3х70), $I_{\text{доп}} = 167 \text{ A}$

Электродуговые печи:

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{у п}} = 1 \cdot 1,25 \cdot 200 = 250 \text{ A}$$

Выбираем ВВГ (3х95), $I_{\text{доп}} = 274 \text{ A}$

Электрические печи индукционные:

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{у п}} = 1 \cdot 1,25 \cdot 200 = 250 \text{ A}$$

Выбираем ВВГ (3х95), $I_{\text{доп}} = 274 \text{ A}$

Электрическая печь сопротивления

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{у п}} = 1 \cdot 1,25 \cdot 80 = 100 \text{ A}$$

Выбираем АВВГ (3х35), $I_{\text{доп}} = 109 \text{ A}$

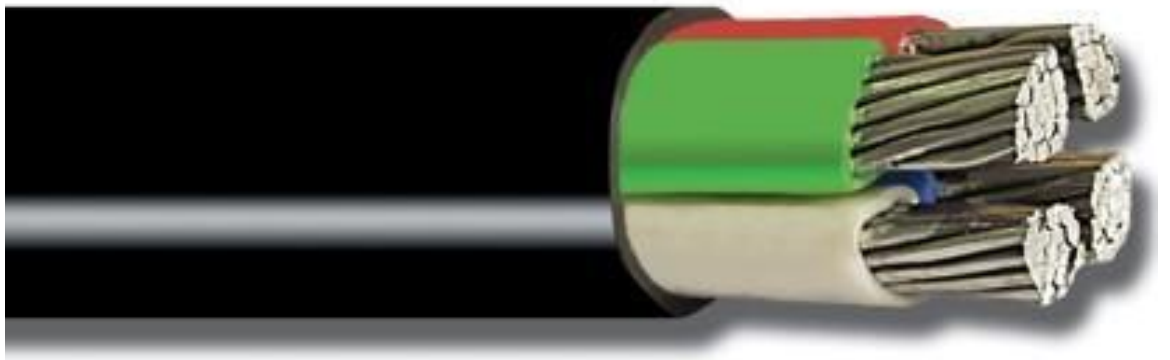


Рисунок 3.1 –Внешний вид кабеля АВВГ

В качестве схемы внутрицехового электроснабжения будет использоваться смешанная схема. Во-первых, смешанные (радиально-магистральные) схемы применимы для электроприёмников любой категории надёжности электроснабжения [13]. Во-вторых, в настоящее время редко применяются только радиальные или магистральные схемы (схемы по отдельности не обладают достоинствами, характерными смешанной схеме;

при выборе схемы акцент ставится на обеспечение высокого уровня надёжности и бесперебойности электроснабжения). В-третьих, смешанная схема удовлетворяет всем ранее перечисленным требованиям и имеет важное достоинство – возможность к модернизации при развитии предприятия.

4 Расчет токов короткого замыкания

В качестве расчетных точек КЗ принимаем шины 10 и 0,4 кВ.

Расчет токов короткого замыкания будем производить для самого мощного электроприемника (электродуговая печь)

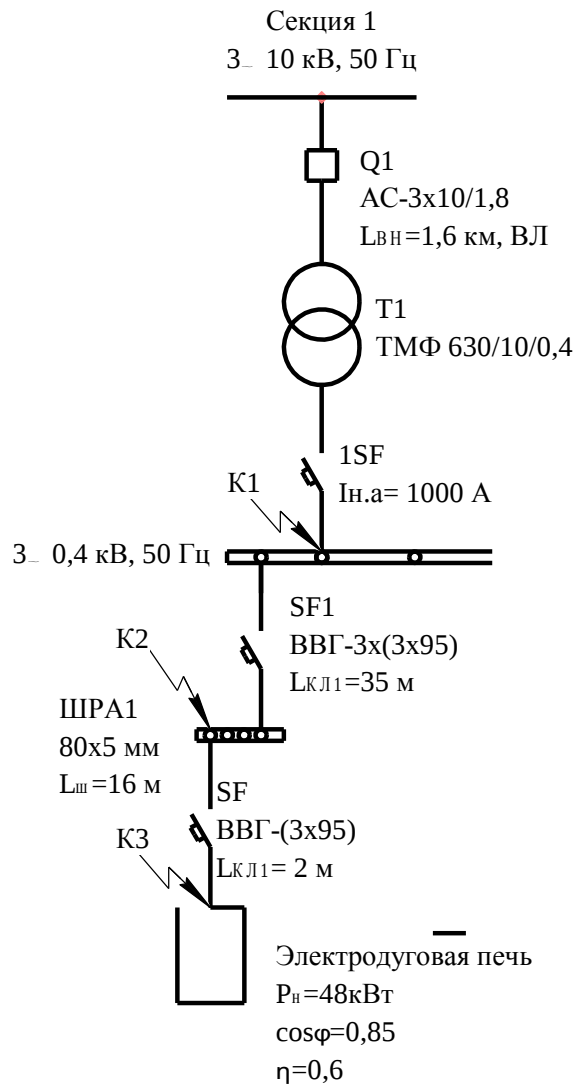


Рисунок 4.1 - Расчетная схема

Составим схему замещения (рисунок 4.2) и пронумеруем точки КЗ в соответствии с расчетной схемой (рисунок 4.1):

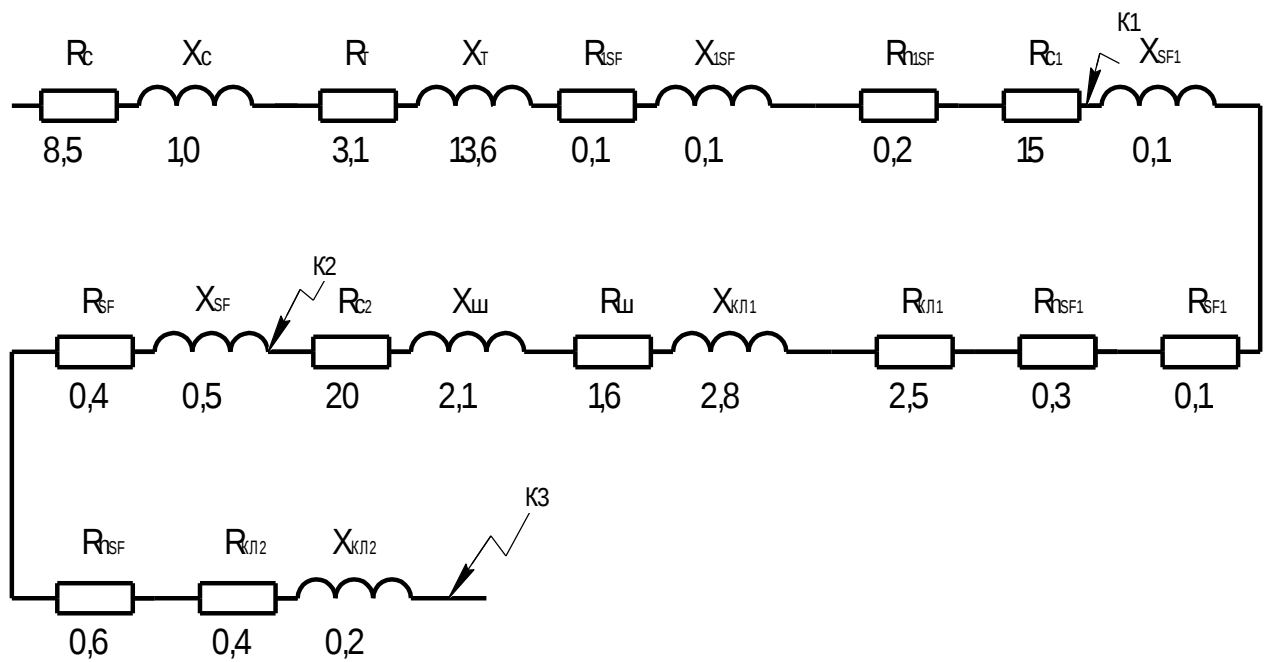


Рисунок 4.2 - Схема замещения

Для системы:

$$I_c = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot V_c} = \frac{630}{1,73 \cdot 10} = 36,4 \text{ A}$$

Наружная ВЛ АС-3 х 10/1,8; $I_{\text{доп}} = 84 \text{ A}$

$$x_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$$

$$X'_C = x_0 \cdot L_c = 0,4 \cdot 1,6 = 0,6 \text{ Ом}$$

$$r_0 = \frac{10^3}{\gamma \cdot S} = \frac{10^3}{30 \cdot 10} = 3,33 \frac{\text{Ом}}{\text{км}},$$

где S - сечение проводника; γ – удельная проводимость материала

$$R'_C = r_0 \cdot L_c = 3,33 \cdot 1,6 = 5,3 \text{ Ом}$$

Сопротивления приводятся к НН:

$$R_c = R'_c \cdot \frac{V_{HH}^2}{V_{BH}^2} = 5,3 \cdot \frac{0,4^2}{10^2} \cdot 10^3 = 8,5 \text{ мОм}$$

$$X_c = X'_c \cdot \frac{V_{HH}^2}{V_{BH}^2} = 0,6 \cdot \frac{0,4^2}{10^2} \cdot 10^3 = 1,0 \text{ мОм}$$

Для трансформатора по [1, стр. 59]

$$R_T = 3,1 \text{ мОм} \quad X_T = 13,6 \text{ мОм} \quad Z_T^{(1)} = 129 \text{ мОм}$$

Для автоматов по [1, стр. 59]

$$1SF \quad R_{1SF} = 0,1 \text{ мОм}; X_{1SF} = 0,1 \text{ мОм}; R_{n1SF} = 0,15 \text{ мОм}$$

$$SF1 \quad R_{SF1} = 0,12 \text{ мОм}; X_{SF1} = 0,13 \text{ мОм}; R_{nSF1} = 0,25 \text{ мОм}$$

$$SF \quad R_{SF} = 0,4 \text{ мОм}; X_{SF} = 0,5 \text{ мОм}; R_{nSF} = 0,6 \text{ мОм}$$

Для кабельных линий по [1, стр. 60]

КЛ1:

$$r'_0 = 0,2 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}; x_0 = 0,08 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$$

Так как в схеме три параллельных кабеля, то

$$r_0 = \frac{1}{3} \cdot r'_0 = \frac{1}{3} \cdot 0,2 = 0,07 \frac{\text{мОм}}{\text{м}};$$

$$R_{КЛ1} = r_0 \cdot L_{КЛ1} = 0,07 \cdot 35 = 2,5 \text{ мОм}$$

$$X_{КЛ1} = x_0 \cdot L_{КЛ1} = 0,08 \cdot 35 = 2,8 \text{ мОм}$$

КЛ2:

$$r'_0 = 0,2 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}; x_0 = 0,08 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$$

$$R_{\text{КЛ2}} = r_0 \cdot L_{\text{КЛ2}} = 0,2 \cdot 2 = 0,4 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{КЛ2}} = x_0 \cdot L_{\text{КЛ2}} = 0,08 \cdot 2 = 0,2 \text{ мОм}$$

Для шинопровода ШРА1 по [1, стр. 61]

$$r_0 = 0,1 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}; x_0 = 0,13 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$$

$$R_{\text{ш}} = r_0 \cdot L_{\text{ш}} = 0,1 \cdot 16 = 1,6 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{ш}} = x_0 \cdot L_{\text{ш}} = 0,13 \cdot 16 = 2,1 \text{ мОм}$$

Для ступеней распределения по [1, стр.59]

$$R_{\text{с1}} = 15 \text{ мОм}; R_{\text{с2}} = 20 \text{ мОм}$$

Упростим схему замещения, вычислим эквивалентные сопротивления на участках между точками К3 и нанесем их на схему (рисунок 4.3)

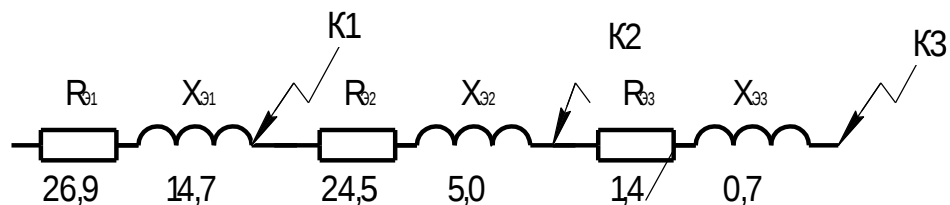


Рисунок 4.3 – Упрощенная схема замещения

$$R_{\text{э1}} = R_{\text{с}} + R_{\text{T}} + R_{\text{1SF}} + R_{\text{n1SF}} + R_{\text{с1}} = 8,5 + 3,1 + 0,1 + 0,15 + 15 = 26,9 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{э1}} = X_{\text{с}} + X_{\text{T}} + X_{\text{1SF}} = 1,0 + 13,6 + 0,1 = 14,7 \text{ мОм}$$

$$R_{\text{э2}} = R_{\text{SF1}} + R_{\text{nSF1}} + R_{\text{КЛ1}} + R_{\text{ш}} + R_{\text{с2}} = 0,12 + 0,25 + 2,5 + 1,6 + 20 = 24,5 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{э2}} = X_{\text{SF1}} + X_{\text{КЛ1}} + X_{\text{ш}} = 0,13 + 2,8 + 2,1 = 5,0 \text{ мОм}$$

$$R_{\text{э3}} = R_{\text{SF}} + R_{\text{nSF}} + R_{\text{КЛ2}} = 0,4 + 0,6 + 0,4 = 1,4 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{э3}} = X_{\text{SF}} + X_{\text{кЛ2}} = 0,5 + 0,2 = 0,7 \text{ мОм}$$

Вычислим сопротивления до каждой точки КЗ и занесем их в сводную ведомость:

$$R_{\text{К1}} = R_{\text{э1}} = 26,9 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{К1}} = X_{\text{э1}} = 14,7 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{К1}} = \sqrt{R_{\text{К1}}^2 + X_{\text{К1}}^2} = \sqrt{26,9^2 + 14,7^2} = 30,7 \text{ мОм}$$

$$R_{\text{К2}} = R_{\text{э1}} + R_{\text{э2}} = 26,9 + 24,5 = 51,4 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{К2}} = X_{\text{э1}} + X_{\text{э2}} = 14,7 + 5,0 = 19,7 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{К2}} = \sqrt{R_{\text{К2}}^2 + X_{\text{К2}}^2} = \sqrt{51,4^2 + 19,7^2} = 55,1 \text{ мОм}$$

$$R_{\text{К3}} = R_{\text{К2}} + R_{\text{э3}} = 51,4 + 1,4 = 52,8 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{К3}} = X_{\text{К2}} + X_{\text{э3}} = 19,7 + 0,7 = 20,4 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{К3}} = \sqrt{R_{\text{К3}}^2 + X_{\text{К3}}^2} = \sqrt{52,8^2 + 20,4^2} = 56,6 \text{ мОм}$$

$$\frac{R_{\text{к1}}}{X_{\text{к1}}} = \frac{26,9}{14,7} = 1,8$$

$$\frac{R_{\text{к2}}}{X_{\text{к2}}} = \frac{51,4}{19,7} = 2,6$$

$$\frac{R_{\text{к3}}}{X_{\text{к3}}} = \frac{52,8}{20,4} = 2,6$$

Определим коэффициенты K_y и q определяем по [1, стр. 58]

$$K_{y1} = F \cdot \frac{R_{\text{К1}}}{X_{\text{К1}}} = F \cdot 1,8 = 1$$

$$K_{y2} = F \cdot \frac{R_{\text{К2}}}{X_{\text{К2}}} = F \cdot 2,6 = 1$$

$$K_{y3} = F \cdot \frac{R_{\text{К3}}}{X_{\text{К3}}} = F \cdot 2,6 = 1$$

$$q_1 = \frac{1}{1 + 2 \cdot K_{y1} - 1} = \frac{1}{1 + 2 \cdot 1 - 1} = 1$$

$$q_2 = q_3 = 1$$

Определим 3-фазные и 2-фазные токи КЗ и занесем их в сводную ведомость токов КЗ (таблица 4.1):

$$I_{k1}^3 = \frac{U_{k1}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 30,7} = 7,5 \text{ кА}$$

$$I_{k2}^3 = \frac{U_{k2}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 55,1} = 4,2 \text{ кА}$$

$$I_{k3}^3 = \frac{U_{k3}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 56,6} = 4,1 \text{ кА}$$

$$I_{yk1} = q_1 \cdot I_{k1}^3 = 1 \cdot 7,5 = 7,5 \text{ кА}$$

$$I_{yk2} = q_2 \cdot I_{k2}^3 = 1 \cdot 4,2 = 4,2 \text{ кА}$$

$$I_{yk3} = q_3 \cdot I_{k3}^3 = 1 \cdot 4,1 = 4,1 \text{ кА}$$

$$i_{yk1} = \sqrt{2} \cdot K_{y1} \cdot I_{k1}^3 = 1,41 \cdot 1,00 \cdot 7,5 = 10,6 \text{ кА}$$

$$i_{yk2} = \sqrt{2} \cdot K_{y2} \cdot I_{k2}^3 = 1,41 \cdot 1,00 \cdot 4,2 = 5,9 \text{ кА}$$

$$i_{yk3} = \sqrt{2} \cdot K_{y3} \cdot I_{k3}^3 = 1,41 \cdot 1,00 \cdot 4,1 = 5,8 \text{ кА}$$

$$I_{k1}^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k1}^3 = 0,87 \cdot 7,5 = 6,5 \text{ кА}$$

$$I_{k2}^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k2}^3 = 0,87 \cdot 4,2 = 3,7 \text{ кА}$$

$$I_{k3}^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k3}^3 = 0,87 \cdot 4,1 = 3,6 \text{ кА}$$

Таблица 4.1 – Сводная ведомость токов КЗ

КЗ	R_k , мОм	X_k , мОм	Z_k , мОм	R_k/X_k	K_y	q	$I_k^{(3)}$, кА	i_y , кА	$I_{\infty}^{(3)}$, кА	$I_k^{(2)}$, кА	Z_{Σ} , мОм	$I_k^{(1)}$, кА
K1	26,9	14,7	30,7	1,8	1	1	7,5	10,6	7,5	6,5	15	3,2
K2	51,4	19,7	55,1	2,6	1	1	4,2	5,9	4,2	3,7	43,9	2,5
K3	52,8	20,4	56,6	2,6	1	1	4,1	5,8	4,1	3,6	44,8	2,5

Составим схему замещения для расчета 1-фазных токов КЗ (рисунок 4.2)

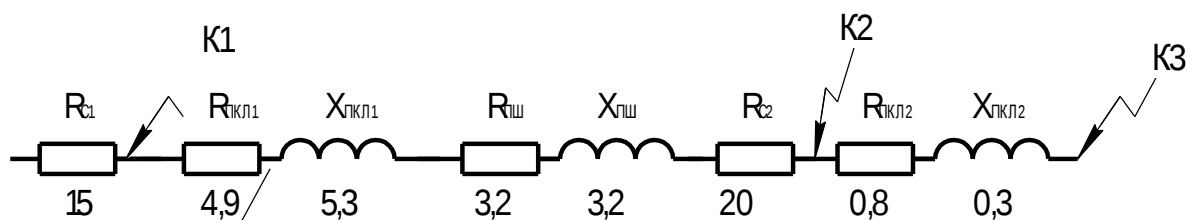


Рисунок 4.4 – Схема замещения для расчета 1-фазных токов КЗ

$$X_{\text{пкЛ1}} = x_{0\text{п}} \cdot L_{\text{кЛ1}} = 0,15 \cdot 35 = 5,3 \text{ мОм}$$

$$R_{\text{пкЛ1}} = 2 \cdot r_0 \cdot L_{\text{кЛ1}} = 2 \cdot 0,07 \cdot 35 = 4,9 \text{ мОм}$$

$$R_{\text{пш}} = 2 \cdot r_0 \cdot L_{\text{ш}} = 2 \cdot 0,1 \cdot 16 = 3,2 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{пш}} = x_{0\text{пш}} \cdot L_{\text{ш}} = 0,2 \cdot 16 = 3,2 \text{ мОм}$$

$$R_{\text{пкЛ2}} = 2 \cdot r_0 \cdot L_{\text{кЛ2}} = 2 \cdot 0,2 \cdot 2 = 0,8 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{пкЛ2}} = x_{0\text{п}} \cdot L_{\text{кЛ2}} = 0,15 \cdot 2 = 0,3 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{п1}} = R_{\text{с1}} = 15 \text{ мОм}$$

$$R_{\text{п2}} = R_{\text{с1}} + R_{\text{пкЛ1}} + R_{\text{пш}} + R_{\text{с2}} = 15 + 4,9 + 3,2 + 20 = 43,1 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{п2}} = X_{\text{пкЛ1}} + X_{\text{пш}} = 5,3 + 3,2 = 8,5 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{п2}} = \sqrt{R_{\text{п2}}^2 + X_{\text{п2}}^2} = \sqrt{43,1^2 + 8,5^2} = 43,9 \text{ мОм}$$

$$R_{\text{п3}} = R_{\text{п2}} + R_{\text{пкЛ2}} = 43,1 + 0,8 = 43,9 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{п3}} = X_{\text{п2}} + X_{\text{пкЛ2}} = 8,5 + 0,3 = 8,8 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{п3}} = \sqrt{R_{\text{п3}}^2 + X_{\text{п3}}^2} = \sqrt{43,9^2 + 8,8^2} = 44,8 \text{ мОм}$$

$$I_{\text{к1}}^1 = \frac{U_{\text{кф}}}{\frac{Z_{\text{Т}}^1}{3} + Z_{\text{п1}}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{\frac{129}{3} + 15} = 3,8 \text{ кА}$$

$$I_{k2}^1 = \frac{U_{k\phi}}{\frac{Z_T^1}{3} + Z_{\pi 2}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{\frac{129}{3} + 43,9} = 2,5 \text{ кА}$$

$$I_{k3}^1 = \frac{U_{k\phi}}{\frac{Z_T^1}{3} + Z_{\pi 3}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{\frac{129}{3} + 44,8} = 2,5 \text{ кА}$$

В результате расчета токов короткого замыкания получили, что самыми опасными для всех трех точек, являются трехфазные КЗ, затем идут двухфазные КЗ, наименее опасными являются однофазные КЗ, их ток в среднем в 2 раза меньше, чем ток трехфазных КЗ.

5 Выбор метода и расчёт заземления нейтрали трансформатора

В сети 0,4 кВ для безопасного производства работ на основном так и на вспомогательном оборудовании обслуживающим персоналом, используется система заземления оборудования. При не правильном заземлении при не качественно выполненной конструкции заземляющего контура увеличивается вероятность травматизма, увеличивается погрешность измерительных приборов и оборудование автоматизации, или полная потеря работоспособности – всё выше перечисленное происходит из-за пробоя изоляции элементов электрической сети.

На дожимной насосной станции применяется большое количество разнообразного высокоточного оборудования, требующее хорошее заземляющее устройство, для защиты оборудования от различных электромагнитных и статических разрядов.

Для выполнения данного требования подходит система заземления TNS, выполненная по пятипроводной схеме, с нейтральным рабочим и нулевым защитным проводником, указанной на рисунке 5.1. Также к контуру заземления будут присоединены защитные молниеотводы.

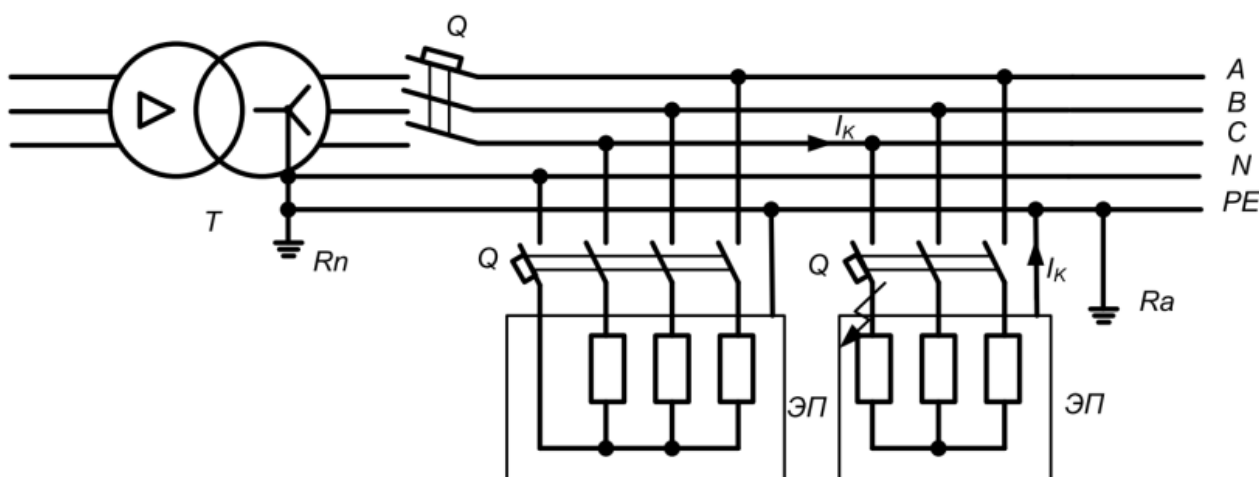


Рисунок 5.1 – Система заземления TNS

В схеме TN-S защитным проводником является РЕ, предназначенный для уравнивания потенциалов, а N – нулевой рабочий проводник. РЕ и N выполняем разными проводами. Согласно требованиям ПУЭ данная система заземления выполняется с дополнительным контуром заземления.

В схеме электроснабжения схема TN-S является как наиболее безопасный метод заземления.

Выполняя требования ПУЭ сопротивление контура заземления электросети 0,4 кВ не должно быть выше 4 Ом.

Рассчитываем сопротивление контур заземляющего выполненного из металлических стержней вбитых по периметру ТП.

Для строительства контура заземления, с размером 4×10 метров, используем вертикальные металлические стержни, длиной 5 метров. и диаметром 25 миллиметров, с горизонтальной металлической полосой шириной 40 миллиметров и толщиной 4 миллиметров.

Необходимое количество вертикальных заземлителей рассчитываем по выражению 5.1:

$$R_{\text{верт}} = \frac{0,366 \times \rho_{\text{расч}}}{L} \times \lg \frac{2L}{d} + 0,5 \times \lg \frac{4t + L}{4t - L}, \quad (8.1)$$

$$\rho_{\text{расч.}} = \rho \times k_c,$$

$$\rho_{\text{расч.}} = 1,25 \times 40 = 50 \frac{\text{Ом}}{\text{м}}$$

$$t = h + 0,5 \times L = 0,5 + 0,5 \times 5 = 3 \text{ м},$$

где $R_{\text{верт}}$ – сопротивление вертикального заземлителя;

$\rho_{\text{расч.}}$ - расчётное сопротивление грунта;

ρ – удельное сопротивление грунта равное 40 Ом/м;

k_c – сезонный коэффициент, принимаем как 1,25;

d – диаметр заземлителя, м;

L – длина заземлителя, м;

b – ширина полосы (для угловой стали – ширина полки), м;

h – глубина закладки горизонтального заземлителя, равная 0,5 м;

t – расстоянию от поверхности земли до середины электрода, в м.

$$R_{\text{верт}} = \frac{0,366 \times 50}{5} \lg \frac{2 \times 5}{0,025} + 0,5 \times \lg \frac{4 \times 3 + 5}{4 \times 3 - 5} = 10,2 \text{ Ом},$$

Количество вертикальных стержней определяем по выражению 8.2:

$$N_{\text{вер}} = \frac{R_{\text{верт}}}{R_{\text{ЗК}} \times \eta_{\text{вер}}}, \quad 8.2$$

$$N_{\text{вер}} = \frac{10,2}{4 \times 0,68} = 3,75,$$

где $\eta_{\text{вер}}$ – коэффициента экранирования, при связывании горизонтальной полосой;

$R_{\text{ЗК}}$ –необходимое сопротивление заземляющего контура.

Расчётные значение, округляем до большего значения, и получаем четыре стержня, которые распределяем по углам контура заземления.

Сопротивление растекания горизонтальной полосы не рассчитываем, так как вертикальных стержней достаточно для создания требуемого контура с сопротивлением до 4 Ом.

Данный заземляющий контур заземления подходит для заземления нейтрали трансформатора и потребителей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы было выполнен расчет системы электроснабжения цеха по обработке деталей, включающие в себя определение ожидаемых нагрузок цеха, расчет и выбор осветительных электроустановок, рассмотрение и сравнение нескольких вариантов питания цеха, расчет всех видов коротких замыканий, а так же навыки анализа полученных результатов и выбора необходимого оборудования.

В ходе сравнения двух возможных вариантов питания цеха, по экономической составляющей было определено, что КТП с одним трансформатором ТМФ630/10/0,4 и двумя компенсирующими устройствами КРМ-0,4-100-25УЗ выгоднее на 122,6 тыс.руб, чем КТП с двумя трансформаторами ТМФ400/10/0,4 и двумя компенсирующими устройствами КРМ-0,4-100-25УЗ

Рассчитав токи короткого замыкания, получили, что токи трехфазных коротких замыканий, для различных точек к.з., являются наиболее опасными для системы электроснабжения цеха обработки деталей:

$$I_{k1}^3 = 7,5 \text{ кА}$$

$$I_{k2}^3 = 4,2 \text{ кА}$$

$$I_{k3}^3 = 4,1 \text{ кА}$$

В ходе проверки оборудования на способность отключения данных токов к.з., было выяснено, что все выбранное оборудование может отключить данные токи короткого замыкания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Правила устройства электроустановок. 7-е издание [Текст]. – СПб.: Энергоатомиздат. 2013. – 692 с. – (Российское законодательство. Техническая литература).
2. Библия электрика: ПУЭ, МПОТ, ПТЭ [Текст]. – М.: Эксмо, 2012.– 689 с. – (Российское законодательство. Техническая литература).
3. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа. СП 31-110-2003. Москва 2015. – 74 с.
4. Вахнина В.В. Проектирование систем электроснабжения. Электронное учебно-методическое пособие / Вахнина В.В., Черненко А.Н. - Тольятти: Изд-во ТГУ, 2016. – 78 с.
5. Вахнина В.В. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учебно-методическое пособие для практических занятий и курсового проектирования / Вахнина В.В., Черненко А.Н. - Тольятти: ТГУ, 2007. – 39 с.
6. Шведов Г.В. Электроснабжение городов: электропотребление, расчетные нагрузки, распределительные сети [Текст]. М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 268 с.
7. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. М.: Энергоатомиздат. 2010. – 108 с.
8. Фролов Ю.М. Основы электроснабжения: учеб. пособие / Ю. М. Фролов, В. П. Шелякин. - Санкт-Петербург: Лань, 2012. - 480 с.
9. Нормативы для определения расчетных электрических нагрузок зданий (квартир), коттеджей, микрорайонов (кварталов) застройки и элементов городской распределительной сети [Текст]. – М. 2000. – 14 с.
10. Шведов Г.В., Городские электрические распределительные сети [Текст] М.: Изд-во МЭИ, 2011. – 108 с.

11. Вахнина В.В. Проектирование осветительных установок. учеб. Пособие [Текст] / Вахнина В.В., Самолина О.В., Черненко А.Н., Рыбалко Т.А.- Тольятти: ТГУ, 2015. – 107 с.
12. Озерский В.М., Расчеты электроснабжения городов: Учебное пособие / Озерский В.М., Маковецкий С.Я.; Саратов, 2001. – 68 с.
13. Борисов Р.К. Заземляющие устройства электроустановок: справочник / М. Издательский дом МЭИ, 2013. – 360 с.
14. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов / Сибикин Ю.Д. – Москва: Форум, 2015. – 384 с.
15. Алиев И.И. Кабельные изделия: справочник / Алиев И.И. - М.: ИП РадиоСОФТ, 2010. – 384 с.
16. Синюкова Т.В. Электроснабжение: расчет токов короткого замыкания: метод. указания к практическим и курсовым работам [Текст] / Липецкий государственный технический университет. - Липецк: ЛГТУ, 2014. - 46 с.
17. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник [Текст] /. Анчарова Т.В., Рашевская М.А., Стебунова Е.Д. - М.: Форум: НИЦ Инфра-М, 2012. - 416 с.
18. Шведов Г.В. Потери электроэнергии при ее транспорте по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение. Учебное пособие / Шведов Г.В., Скрипачева О.В., Савченко О.В., – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 424 с.
19. Кудрин Б.И. Электроснабжение потребителей и режимы. Учебное пособие для вузов [Текст] / Кудрин Б.И., Жилин Б.В., Матюнина Ю.В. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 412 с.
20. Электрические сети. Оборудование электроустановок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://forca.ru>.

21. ПАО «РАДИУС-Автоматика». Комплекс оборудования релейной защиты и автоматики для сетей 0,4 кВ до 110 кВ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rza.ru/catalog>.
22. Каталог электрооборудования «Электрощит» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://electroshield.ru>
23. Электроснабжение административных зданий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://projectsdevelop.com/power_supply_of_office_buildings.
24. ABB PRODUCT-DETAILS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://new.abb.com/products>.
25. Power System Protection Forum [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://forum.pearlabs.com/>.
26. Varetsky Y. Reactive power compensation in a powerful DC drives supply system // 2016 Electric Power Networks (EPNet). Szklarska Poreba. 2016. pp. 1-6.
27. Huang S. J., Dai S. H., Su J. L., Lee T. S. Design of a contactless power supply system with dual output capability for AGV applications // 2017 IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE). Nagoya. 2017. pp. 1-3.
28. Wang Y., Feng F. Loading rate optimization of hybrid power supply system in self-adaptive dual-generator parallel operation // 2017 IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC). Broadbeach. 2017, pp. 43-46.
29. Maria Louis M. Elements of electrical engineering. - PHI Learning Pvt. Ltd., 2014. 992 p.