



## **Аннотация**

В выпускной квалификационной работе выполнено проектирование системы электроснабжения предприятия. Его особенностью является наличие нестандартного оборудования с ручной подачей обрабатываемого материала, практика эксплуатации которого показала, что обычные средства защиты от перегрузки не обеспечивают длительной работы без поломок. Таким образом, расчетная часть работы имеет два аспекта. Один – традиционный расчет электрических нагрузок и выбор соответствующего оборудования, а другой – разработка специального устройства для контроля нагрузки станков с ручной подачей.

В рамках традиционной задачи выполнен расчет ожидаемых электрических нагрузок с учетом токов короткого замыкания и обоснован выбор необходимого оборудования (КТП, кабелей, аппаратов защиты и т.д.). Устройство контроля нагрузки станков с ручной подачей разработано на основе компараторных схем и измерительных трансформаторов собственной конструкции.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки объемом 58 страниц, 15 таблиц, 9 рисунков, 2 приложений, 20 использованных источников, включая 5 иностранных источников и 6 листов графической части формата А1.

## Abstract

The topic of the given graduation work is «Development of the power supply system for the woodworking enterprise».

The existing power supply system is of a temporary nature and is performed with numerous violations of the requirements in the governing documents, therefore, it needs to be re-evaluated.

The graduation work consists of an explanatory note on 58 pages, including 9 figures, 15 tables, the list of 20 references including 5 foreign sources and 2 appendices, and the graphic part on 6 A1 sheets.

The goal of this graduation work is to develop a power supply system for a woodworking enterprise.

The graduation work is divided into several logically connected parts which are the calculation of the expected electrical loads, a preliminary selection of the necessary electrical equipment, calculation of short-circuit currents, checking the selected electrical equipment.

We also compared lighting device «ARCTIC LED 1500 ES1» and «ARCTIC 258 (PC/SMC) HF ES1».

The special part of the project gives details about the developed equipment, signaling the overload of the engine, and if necessary (for example, in the case of jamming) turns it off. The requirements for the developed device are as follow: low cost and reliability.

Finally, we analyze the compliance of the selected electrical equipment with the required criteria, such as the ability to turn off the short-circuit current with an automatic switch.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1 Расчет исходных данных для проектирования системы электроснабжения предприятия .....	7
1.1 Общая характеристика предприятия.....	7
1.2 Определение ожидаемых затрат мощности предприятия .....	9
1.2.1 Затраты мощности без учета освещения .....	9
1.2.2 Определение затрат мощности на освещение.....	17
1.2.3 Составление сводной ведомости нагрузок предприятия.....	21
2 Разработка технических предложений по электроснабжению предприятия ..	22
2.1 Выбор схем электроснабжения и заземления .....	22
2.2 Выбор основных элементов системы электроснабжения.....	23
2.2.1 Выбор КТП .....	23
2.2.2 Выбор распределительных щитов и щитов освещения .....	24
2.2.3 Выбор защитной аппаратуры.....	25
2.2.4 Выбор кабелей .....	28
2.3 Расчет токов короткого замыкания .....	31
2.4 Анализ затрат.....	44
3 Устройство для защиты от перегрузки оборудования с ручной подачей .....	46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	55
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	57
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	59
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	60

## ВВЕДЕНИЕ

Грамотно разработанная система электроснабжения предприятия является одной из важнейших составляющих его успешного существования и развития. Постоянное обновление оборудования, адаптация к новым задачам, реакция на изменения структуры рынка и другие факторы требуют проектировать гибкие и устойчивые к воздействию внешних факторов системы электроснабжения. Глубокое понимание данной ситуации руководством предприятия и его готовность внедрять новшества обусловили определенную специфику настоящей работы.

Вместе с тем, объект строился в условиях жесткой экономии средств и его состояние в отношении электроснабжения далеко от идеала. Существующая система электроснабжения выполнена с многочисленными нарушениями требований руководящих документов, и она не рассчитана на заложенные в проекте будущие нагрузки, следовательно, ее требуется рассчитать заново.

Задачи по электроснабжению можно разделить на стандартные и нестандартные. Стандартные - расчет электрических нагрузок, выбор схем электроснабжения и заземления, выбор КТП, кабелей и т.п., анализ необходимых затрат и т.д. При их решении используются известные методики.

Нестандартные задачи обусловлены спецификой применяемого оборудования. Эта специфика связана с применением двух нестандартных станков с ручной подачей материала: шлифовального и ленточнопильный. Шлифовальный станок предназначен для шлифовки деревянных изделий, в частности, дверей. Он представляет собой стандартный ленточно-шлифовальный аппарат. Главной его проблемой является неравномерность нагрузки на электродвигатель при ручной подаче. Аналогичная ситуация имеет место при использовании ленточнопильного станка. Так как рабочие часто меняются, нагрузка на эти станки тоже меняется в широких пределах. В результате стандартные средства защиты от перегрузки часто срабатывают. Чтобы избежать этого, станки недогружают, что приводит к снижению производительности труда. Исходя из опи-

санных особенностей, требуется разработать аппаратуру, сигнализирующую о перегрузке двигателя и, при необходимости (например, в случае заклинивания) отключающую его.

# 1 Расчет исходных данных для проектирования системы электро-снабжения предприятия

## 1.1 Общая характеристика предприятия

Объект – филиал производственно-коммерческого предприятия «МПП Технопарк», расположенного в с. Тимофеевка по адресу ул. Строителей, 82. Объект расположен на обводном шоссе и в настоящее время находится в стадии завершения строительства. На рисунке 1 представлен план объекта, учитывающий, как действующие, так и перспективные электроприемники, их перечень представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень электроприемников

№	Наименование электрооборудования	n	P <sub>пасп</sub> , кВт	Примечание
1	2	3	4	5
1	Пилорама Mebor HTZ 1100	1	22	
2	Конвективная сушильная камера серии Гелиос	1	3x3	
3	Котельная установка «Гефест-60»	1	0,9	
4	Станок для шкантов FS-18	1	0,7	
5	Четырехсторонний продольно-фрезерный станок OSTERMANN 180S	1	17,1	
6	Станок комбинированный SICAR Модели C300	2	9	
7	Долбежный станок G-281	1	1,5	
8	Станок токарный деревообрабатывающий с копировальным устройством мод. «ТД 40»	1	1,5	
9	Станок ленточнопильный.	1	2,2	Самодельный
10	Автоматическая торцовочная линия с функцией оптимизации TRV1200S	1	7	Перспективный ЭП
11	Полуавтоматическая линия для сращивания по длине Beaver 150 Standart	1	40	Перспективный ЭП
12	Станок ленточный плоскошлифовальный	1	3	Самодельный
13	Ленточно-делительный станок QUADRO-101E	1	16,5	
14	Комплексная линия сборки поддонов PalletPro	1	3	
15	Поршневой компрессор серии KS	1	2,2	

Продолжение таблицы 1

16	Паркетная линия Beaver - Parquet line	1	67,3	Перспективный ЭП
17	Установка для пневматической окраски в электростатическом поле высокого напряжения Vector R 90	3	3	1-фазные
18	Пресс горячий для щита VP-E25/13(ПХФД 60x6)	1	41,25	
19	Зарядные агрегаты	3	1	1-фазные
20	Вентиляторы	4	5	
21	Покрасочные камеры	3	1,1	



Рисунок 1 – План объекта



## 1.2 Определение ожидаемых затрат мощности предприятия

Для правильного выбора кабелей, коммутирующих и защитных устройств необходимо знать затраты мощности каждого из электроприемников предприятия. Расчет системы освещения целесообразно выполнить отдельно.

### 1.2.1 Затраты мощности без учета освещения

Для проведения расчета необходимо, чтобы все электроприемники (далее ЭП) находящиеся на территории предприятия были приведены к длительному режиму, а однофазные ЭП к эквивалентной 3-фазной мощности.

Приведение мощности однофазных ЭП к эквивалентной 3-фазной мощности требуется для «Установка для пневматической окраски в электростатическом поле высокого напряжения» и «Зарядные агрегаты». Однако, количество данных агрегатов кратно количеству фаз (3 фазы), то при расчете будем считать данные группы 1-фазных ЭП эквивалентными 3-фазным ЭП той же мощности.

«Для однотипных ЭП находится суммарная мощность из выражения:

$$P_{n\Sigma} = n \cdot P_n, \text{ кВт.} \quad (1)$$

где:  $n$  – количество электроприемников

$P_n$  – номинальная мощность одного ЭП» [4, с. 10].

«Для каждой группы электроприемников рассчитываются значения активной и реактивной мощности за наиболее загруженную смену, определяемые из выражений:

$$P_c = K_n \cdot P_{n\Sigma}, \text{ кВт,} \quad (2)$$

$$Q_c = P_c \cdot \text{tg}\varphi, \text{ квар.} \quad (3)$$

где:  $K_{и}$  – коэффициент использования электроприемников, определяется на основании опыта эксплуатации,

$\text{tg}\varphi$  – коэффициент реактивной мощности» [4, с. 10].

На примере «четырехстороннего продольно-фрезерного станка» установленного в «мебельном цехе», покажем расчет по выше приведенным формулам:

$$P_{н\Sigma} = 1 \cdot 17,1 = 17,1 \text{ кВт},$$

$$P_c = 0,6 \cdot 17,1 = 10,3 \text{ кВт},$$

$$Q_c = 10,3 \cdot 1,73 = 17,8 \text{ квар}.$$

Далее найдем суммарную нагрузку по узлу питания (цеху) по формулам:

$$P_{c\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_{ci}, \text{ кВт}, \quad (4)$$

$$Q_{c\Sigma} = \sum_{i=1}^n Q_{ci}, \text{ квар}, \quad (5)$$

$$S_{c\Sigma} = \sqrt{P_{c\Sigma}^2 + Q_{c\Sigma}^2}, \text{ кВА}. \quad (6)$$

На примере «мебельного цеха» выполним расчет  $P_{c\Sigma}$ ,  $Q_{c\Sigma}$  и  $S_{c\Sigma}$ :

$$P_{c\Sigma} = 4 + 0,6 + 1,8 + 8,3 + 40,4 + 6,3 = 61,4 \text{ кВт},$$

$$Q_{c\Sigma} = 3 + 1,1 + 1,4 + 14,4 + 69,9 + 10,9 = 100,7 \text{ квар},$$

$$S_{c\Sigma} = \sqrt{61,4^2 + 100,7^2} = 117,9 \text{ кВА}.$$

После этого производится расчет средневзвешенных значений расчетных коэффициентов, определяемых из выражений:

$$K_{и.ср} = \frac{P_{с\Sigma}}{P_{н\Sigma}}, \quad (7)$$

$$\cos\varphi_{ср} = \frac{P_{с\Sigma}}{S_{с\Sigma}}, \quad (8)$$

$$\operatorname{tg}\varphi_{ср} = \frac{Q_{с\Sigma}}{P_{с\Sigma}}. \quad (9)$$

На примере «мебельного цеха» выполним расчет  $K_{и.ср}$ ,  $\cos\varphi_{ср}$  и  $\operatorname{tg}\varphi_{ср}$ :

$$K_{и.ср} = \frac{61,4}{128,6} = 0,5,$$
$$\cos\varphi_{ср} = \frac{61,4}{117,9} = 0,52,$$
$$\operatorname{tg}\varphi_{ср} = \frac{100,7}{61,4} = 1,64.$$

«Показатель силовой сборки в группе  $m$ , определяется по формуле:

$$m = \frac{P_{н.нб}}{P_{н.нм}}, \quad (10)$$

где:  $P_{н.нб}$  – наибольшая номинальная мощность электроприемника данного узла,

$P_{н.нм}$  - наименьшая номинальная мощность электроприемника данного узла» [4, с. 11].

Для «мебельного цеха» выполним расчет  $m$ :

$$m = \frac{P_{н.нб}}{P_{н.нм}} = \frac{41,25}{1} = 41,25,$$

$$m > 3.$$

Определяем эффективное число электроприемников  $n_э$ , по формуле

$$n_э = \frac{(\sum P_{Hi})^2}{\sum P_{Hi}^2} \quad (11)$$

Для «мебельного цеха» выполним расчет  $n_э$ :

$$n_э = \frac{(5 + 3 + 1 + 1 + 1 + 41,25 + 67,3 + 9)^2}{5^2 + 3^2 + 1^2 + 1^2 + 1^2 + 41,25^2 + 67,3^2 + 9^2} = 2,6$$

Принимаем  $n_э = 3$

«Расчетные активная и реактивная нагрузки по расчетному узлу, определяются по формулам:

$$P_p = K_M \cdot P_c, \text{ кВт}, \quad (12)$$

$$Q_p = K'_M \cdot Q_c, \text{ квар}. \quad (13)$$

где:  $K_M$  – коэффициент максимума для активной мощности,

$K'_M$  - коэффициент максимума для реактивной мощности» [4, с. 12].

На примере «мебельного цеха» выполним расчет  $P_p$  и  $Q_p$ .  $K_M$  и  $K'_M$  определяются по [4, с. 13] ( $K_M = 1,65$ ,  $K'_M = 1,1$ ):

$$P_p = 1,65 \cdot 61,4 = 101,3 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 1,1 \cdot 100,7 = 110,8 \text{ квар}.$$

«Расчетная полная мощность и ток по узлу или цеху, определяются из выражений:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{ кВА}, \quad (14)$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{л}}, \text{ А}. \quad (15)$$

где:  $U_{л}$  – номинальное линейное напряжение» [4, с. 13].

На примере «мебельного цеха» выполним расчет  $S_p$  и  $I_p$ , по вышеприведенным формулам:

$$S_p = \sqrt{101,3^2 + 110,8^2} = 150,1 \text{ кВА},$$

$$I_p = \frac{150,1}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 216,6 \text{ А}.$$

Для всех узлов питания производятся расчеты, аналогично приведенному выше примеру, и заносятся в таблицу 2

Таблица 2 – Ожидаемые затраты мощности

Наименование узла питания или группы электроприемников	n	Установленная мощность		m	$K_{И}$	$\cos\varphi/\text{tg}\varphi$	Средняя мощность			$n_{Э}$	$K_{М}/K'_{М}$	Расчетная мощность			$I_{р}, A$
		Одного ЭП, $P_{Н}$ кВт	всех ЭП $P_{НУ},$ кВт				$P_{с},$ кВт	$Q_{с},$ квар	$S_{с},$ кВА			$P_{р},$ кВт	$Q_{р},$ квар	$S_{р},$ кВА	
<b>Пилорама</b>															
Пилорама	1	22	22		0,6	0,5/1,73	13,2	22,9							
Вентилятор	1	5	5		0,8	0,8/0,75	4	3							
<b>Итого по «пилорама»</b>	2	-	27	>3	0,64	0,55/1,5	17,2	25,9	31,1	1,4	1,46/1,1	25,1	28,5	37,9	54,7
<b>Котельная</b>															
Вентиляторы сушильной камеры	3	3	9		0,6	0,8/0,75	5,4	4,1							
Насос котельной установки	1	0,9	0,9		0,6	0,7/1,02	0,5	0,6							
<b>Итого по «котельная»</b>	4	-	9,9	>3	0,6	0,78/0,79	5,9	4,7	7,5	4	1,46/1,1	8,6	5,2	10,1	14,6
<b>Мебельный цех</b>															
Вентилятор	1	5	5		0,8	0,8/0,75	4	3							
Комплексная линия сборки поддонов	1	3	3		0,2	0,5/1,73	0,6	1,1							
Зарядные агрегаты	3	1	3		0,6	0,8/0,75	1,8	1,4							
Пресс горячий для щита	1	41,25	41,25		0,2	0,5/1,73	8,3	14,4							
Паркетная линия	1	67,3	67,3		0,6	0,5/1,73	40,4	69,9							
Станок комбинированный	1	9	9		0,7	0,5/1,73	6,3	10,9							
<b>Итого по «мебельный цех»</b>	8	-	128,6	>3	0,5	0,52/1,64	61,4	100,7	117,9	4	1,65/1,1	101,3	110,8	150,1	216,6

Продолжение таблицы 2

Наименование узла питания или группы электроприемников	n	Установленная мощность		m	K <sub>И</sub>	cosφ/ tgφ	Средняя мощность			n <sub>Э</sub>	K <sub>М</sub> / K <sub>М</sub> *	Расчетная мощность			I <sub>р</sub> , А
		Одного ЭП, P <sub>н</sub> кВт	всех ЭП P <sub>нΣ</sub> , кВт				P <sub>с</sub> , кВт	Q <sub>с</sub> , квар	S <sub>с</sub> , кВА			P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , квар	S <sub>р</sub> , кВА	
<b>Столярный цех</b>															
Вентилятор	1	5	5		0,8	0,8/0,75	4	3							
Станок для шкантов	1	0,7	0,7		0,2	0,5/1,73	0,1	0,2							
Четырехсторонний продольно-фрезерный станок	1	17,1	17,1		0,6	0,5/1,73	10,3	17,8							
Станок комбинированный	1	9	9		0,7	0,5/1,73	6,3	10,9							
Долбежный станок	1	1,5	1,5		0,2	0,5/1,73	0,3	0,5							
Станок токарный деревообрабатывающий	1	1,5	1,5		0,2	0,5/1,73	0,3	0,5							
Станок ленточнопильный	1	2,2	2,2		0,2	0,5/1,73	0,4	0,7							
Автоматическая торцовочная линия	1	7	7		0,6	0,5/1,73	4,2	7,3							
Полуавтоматическая линия для сращивания по длине	1	40	40		0,6	0,5/1,73	24	41,6							
Станок ленточный плоскошлифовальный	1	3	3		0,4	0,5/1,73	1,2	2,1							
Ленточно-делительный станок	1	16,5	16,5		0,4	0,5/1,73	6,6	11,4							

Продолжение таблицы 2

Наименование узла питания или группы электроприемников	n	Установленная мощность		m	K <sub>И</sub>	cosφ/ tgφ	Средняя мощность			n <sub>Э</sub>	K <sub>М</sub> / K <sub>М</sub> *	Расчетная мощность			I <sub>р</sub> , А
		Одного ЭП, P <sub>н</sub> кВт	всех ЭП P <sub>нΣ</sub> , кВт				P <sub>с</sub> , кВт	Q <sub>с</sub> , квар	S <sub>с</sub> , кВА			P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , квар	S <sub>р</sub> , кВА	
<b>Итого по «столярный цех»</b>	11	-	103,5	>3	0,6	0,51/1,66	57,7	96	112	5	1,41/1	81,4	96	125,9	181,7
<b>Цех покраски</b>															
Покрасочные камеры	3	1,1	3,3		0,8	0,8/0,75	2,6	1,9							
Вентиляторы	1	5	5		0,8	0,8/0,75	4	3							
Установка для пневматической окраски	3	3	9		0,6	0,7/1,02	5,4	5,5							
Поршневой компрессор	1	2,2	2,2		0,7	0,8/0,75	1,5	1,1							
<b>Итого по «цех покраски»</b>	8	-	19,5	>3	0,7	0,76/0,85	13,5	11,5	17,7	8	1,2/1,1	16,2	12,6	20,5	29,6
<b>Всего без освещения</b>												232,6	253,1	344,5	



## 1.2.2 Определение затрат мощности на освещение

Для расчета системы освещения воспользуемся известной методикой [7].

«Расчет по методу коэффициента использования светового потока ведется в следующем порядке:

- определяется требуемая нормами освещенность  $E_n$  и по конфигурации помещения выбирается тип и число светильников  $N$  при наивыгоднейшем их расположении;

- находится индекс помещения;

- находится сочетание коэффициентов отражения потолка, стен и расчетной поверхности;

- определяется коэффициент использования светового потока для данного типа светильника;

- подстановкой в основную формулу определяется расчетный световой поток одной лампы;

- выбирается мощность лампы, световой поток которой близок или совпадает с полученной расчетной величиной» [7, с. 10].

Параметры помещений занесем в таблицу 3

Таблица 3 – Параметры помещений

Наименование помещения	А/В/Н, мм	Коэф. отражения	Требуемая $E_m$ , лк
Пилорама	7000/16000/4200	70/50/20	300
Котельная	4400/6300/4200	70/50/20	200
Мебельный цех	10000/20500/4200	70/50/20	300
Столярный цех	14000/20500/4200	70/50/20	300
Цех покраски	10000/10000/4200	70/50/20	300
Навес для работы	10000/20000/4200	50/-/20	300
Склад	10000/20000/4200	50/-/20	50
Склад электроинструмента	5000/5000/4200	70/50/20	100
Офис	5000/5000/4200	70/50/20	400

На примере «цеха покраски» произведем расчеты по приведённой методике:

«Расчетная высота, определяется по формуле:

$$h_{\text{расч}} = H - h_c - h_p, \text{ м}, \quad (16)$$

где:  $H$  – высота помещения;

$h_c$  – высота свеса светильников;

$h_p$  – высота рабочей поверхности» [7, с. 10].

$$h_{\text{расч}} = 4,2 - 0 - 0,8 = 3,6 \text{ м.}$$

«Расстояние между рядами светильников, определяется по формуле

$$L = \lambda_c \cdot h_{\text{расч}}, \text{ м}, \quad (17)$$

где:  $\lambda_c = 1,2$  – наивыгоднейшее относительное расстояние» [7, с. 10].

$$L = 1,2 \cdot 3,6 = 4,32 \text{ м.}$$

«Число рядов светильников в помещении, определяется по формуле:

$$n_b = \frac{B}{L}, \text{ шт}, \quad (18)$$

где:  $B$  - ширина помещения» [7, с. 10].

$$n_b = \frac{10}{4,32} = 2,4 \text{ шт.}$$

Принимаем  $n_b = 3$  шт

«Индекс помещения рассчитывается по формуле:

$$i = \frac{S}{a + b \cdot h_{\text{расч}}}, \quad (19)$$

где:  $S$  – площадь помещения» [7, с. 11].

$$i = \frac{100}{10 + 10 \cdot 3,6} = 1,39.$$

«Коэффициент использования светового потока определяется по формуле:

$$\eta = \eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{с}} \quad (20)$$

где:  $\eta_{\text{п}}$  – коэффициент использования помещения;  
 $\eta_{\text{с}}$  – КПД светильника» [7, с. 11].

$$\eta = 0,72 \cdot 0,70 = 0,5$$

«Потребный световой поток каждого ряда светильников определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot k \cdot z}{\eta \cdot n_{\text{л}}}, \text{ лм}, \quad (21)$$

где:  $k$  – коэффициент запаса;

$z = 1,1$ , для люминесцентных ламп;

$E_{\text{н}}$  – нормативная минимальная освещенность» [7, с. 11].

$$\Phi = \frac{300 \cdot 100 \cdot 2 \cdot 1,1}{0,5 \cdot 3} = 44000 \text{ лм.}$$

«Число светильников в ряду, определяется по формуле:

$$N = \frac{\Phi}{2 \cdot \Phi_c}, \text{ шт,} \quad (22)$$

где:  $\Phi_c$  – световой поток одной лампы» [7, с. 11].

$$N = \frac{44000}{2 \cdot 5200} = 4,3 \text{ шт.}$$

Примем  $N = 5$  шт

«Определение возможности размещения полученного числа светильников, рассчитывается по формуле:

$$L_{\text{ряда}} = N \cdot l_{\text{свет}}, \text{ м,} \quad (23)$$

где:  $l_{\text{свет}}$  – длина светильника» [7, с. 11].

$$L_{\text{ряда}} = 5 \cdot 1,578 = 7,89 \text{ м} < 10 \text{ м}$$

Итого для установки в «цехе покраски» принимаем 15 светильников.

Для установки на предприятии были выбраны светильники с люминесцентными лампами, но возможен другой вариант (установка светодиодных светильников). Для сравнения с «ARCTIC 258 (PC/SMC) HF ES1» был выбран «ARCTIC LED 1500 ES1», данные светильники полностью удовлетворяют техническим требованиям, в подтверждение этому в приложениях А и Б приведены ведомости, взятые из «DIALux». Следовательно, окончательным критерием выбора светильников будет экономический критерий. С материальной точки

зрения наиболее выгодным будет выбор светильников «ARCTIC 258 (PC/SMC) HF ES1»

Для упрощения расчета. воспользуемся программой «DIALux», которая использует аналогичный метод расчета. результаты расчетов сведем в таблицу 4.

Таблица 4 – Результат выбора светильников

Наименование помещения	Светильник	N, шт	$P_c$ , Вт	$P_{c\Sigma}$ , кВт
Пилорама	ARCTIC 258 (PC/SMC) HF ES1	15	116	1,7
Котельная	ARCTIC 258 (PC/SMC) HF ES1	4	116	0,5
Мебельный цех	ARCTIC 258 (PC/SMC) HF ES1	29	116	3,4
Столярный цех	ARCTIC 258 (PC/SMC) HF ES1	24	116	2,8
Цех покраски	ARCTIC 258 (PC/SMC) HF ES1	15	116	1,7
Склад электроинструмента	ARCTIC 258 (PC/SMC) HF ES1	1	116	0,1
Офис	ARCTIC 258 (PC/SMC) HF ES1	4	116	0,5
Навес для работы	MATRIX/R LED	14	88	1,2
Склад	MATRIX/R LED	6	88	0,5
<b>Итого</b>				12,4

### 1.2.3 Составление сводной ведомости нагрузок предприятия

Сведем в таблицу 5, результаты расчета ожидаемых нагрузок предприятия без освещения и затраты мощности на освещение и выполним суммирование данных мощностей, для того чтобы далее выбрать трансформатор.

Таблица 5 – Сводная ведомость нагрузок предприятия

Наименование узла питания	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА
Всего без освещения	232,6	253,1	344,5
Освещение	12,4	3,6	12,9
Итого нагрузка на шинах НН трансформатора	245	256,7	357,4

## **2 Разработка технических предложений по электроснабжению предприятия**

### **2.1 Выбор схем электроснабжения и заземления**

Исходя из заданных условий и расположения электроприемников (станков), электроснабжение будем осуществлять по радиальной схеме электроснабжения.

Общую систему электропитания и заземления выполним по схеме TN-C-S.

«В помещении должна быть выполнена система уравнивания потенциалов путем объединения следующих проводящих частей:

- основной (магистральный) защитный проводник (РЕ) питающей линии;
- металлические трубы коммуникаций;
- металлические части конструкций здания» [2, с. 56].

Заземление выполним путем присоединения внутреннего контура заземления цеха (стальная лента 5x40, проложенная по периметру помещения на высоте 0,4 метра над полом) к главной заземляющей шине (шине РЕ в ЩР) и повторного заземления данного контура при помощи естественных заземлителей здания.

Выполним систему 380/220 В с глухозаземленной нейтралью трансформатора с пятипроводной электрической сетью.

Для защиты людей от поражения электротоком при повреждении изоляции предусмотрим следующие защитные меры:

- заземление;
- зануление;
- система уравнивания потенциалов путем заземления всех металлических трубопроводов и другого аналогичного оборудования, которое может оказаться под напряжением при повреждении изоляции электрооборудования.

## 2.2 Выбор основных элементов системы электроснабжения

Для проведения дальнейших расчетов (расчет токов к.з.) нужно иметь предварительное представление о сопротивлениях всех элементов системы электроснабжения предприятия.

На основе рассчитанных в предыдущем разделе электрических нагрузок сначала выберем комплектную трансформаторную подстанцию. Также на данном этапе можно предварительно выбрать кабели, распределительные щиты и щиты освещения, а также защитную аппаратуру, выполняющую отключение в режиме короткого замыкания.

### 2.2.1 Выбор КТП

Для питания данного предприятия выберем комплектную трансформаторную подстанцию производства «Электрощит Самара».

«КТП-СЭЩ-К предназначены для приема, преобразования и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока промышленной частоты 50 Гц и применяются для энергоснабжения сельскохозяйственных объектов, нефтегазовых месторождений, отдельных населенных пунктов и промышленных объектов» [8, с. 34].

Расчетная полная мощность предприятия составила  $S_p = 357,4$  кВА, для установки в КТП принимаем трансформатор ТМГ-СЭЩ-400/10/0,4-У1, тогда окончательный выбор:

КТП-СЭЩ-К (ВК)-400/10/0,4-93-У1.

«Комплектная трансформаторная подстанция типа «киоск», с воздушным вводом по высокой стороне, кабельными отходящими линиями по низкой стороне, с трансформатором мощностью 400 кВА, на номинальное напряжение на стороне ВН 10 кВ, на номинальное напряжение на стороне НН 0,4 кВ, год разработки рабочих чертежей 1993, климатическое исполнение У, категория размещения 1» [8, с. 35].

Полная комплектация КТП представлена в таблице 6

Таблица 6 – Комплектация КТП

Трансформатор	ТМГ-СЭЩ-400/10/0,4-У1
Разъединитель наружной установки в комплекте с приводом	РЛНД-СЭЩ-1-10-П-400-УХЛ1
Предохранитель	ПКТ-102-10-50-12,5 У3
Ограничитель перенапряжения	ОПН-ЗЭУ/П-10/12/10/2 УХЛ1
Коммутационный аппарат	ВА-СЭЩ—TS630
Трансформатор тока	ТШЛ-СЭЩ-0,66-11-600/5 А 0,5
Учет электроэнергии	Меркурий 230АМ-03

### 2.2.2 Выбор распределительных щитов и щитов освещения

Для выбора распределительных щитов (ЩР), перенесем ранее рассчитанные параметры наших узлов электроснабжения (таблица 2) с учетом мощности осветительных приборов (таблица 4), в таблицу 7.

В качестве распределительных щитов принимаем по [1] и [2], щиты с минимальной степенью защиты IP54, ЩРН с номинальным током до 100 А, и ЩМП с номинальным током до 630 А.

Таблица 7 – Выбор ЩР

Наименование узла питания	Расчетная мощность, кВА	Расчетный ток, А	Номер ЩР	Наименование ЩР
Пилорама	39,6	57,2	1	ЩРН-123 IP54
Котельная	10,6	15	2	ЩРН-123 IP54
Мебельный цех	154,1	222,4	3	ЩМП IP54
Столярный цех	128,7	185,8	4	ЩМП IP54
Цех покраски	22,2	32	5	ЩРН-123 IP54

В качестве щитов освещения принимаем щиты освещения с вводным выключателем ОЩВ со степенью защиты IP54.



### 2.2.3 Выбор защитной аппаратуры

«Для выбора аппарата защиты нужно знать ток в линии, где он установлен, тип его и число фаз. Токи в линии к электродвигателю переменного тока, определяются по формуле:

$$I_{д} = \frac{P_{н}}{\sqrt{3} \cdot U_{н} \cdot \cos\varphi \cdot \eta}, \text{ А}, \quad (24)$$

где:  $\eta$  – КПД электродвигателя переменного тока» [12, с. 30].

На примере «Долбежного станка» произведем расчет тока:

$$I_{д} = \frac{1,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,5 \cdot 0,9} = 4,8 \text{ А}.$$

«Автоматический выключатель, для линии с одним ЭД выбирается согласно условиям:

$$I_{н.а} \geq I_{н.р} \geq 1,25 \cdot I_{д}, \quad (25)$$

где:  $I_{н.р}$  – номинальный ток расцепителя, А;

$I_{н.а}$  – номинальный ток автомата, А» [12, с. 30].

$$U_{н.а} \geq U_{с}, \quad (26)$$

где:  $U_{н.а}$  – номинальное напряжение автомата, В;

$U_{с}$  – номинальное напряжение сети, В» [12, с. 30].

На примере «Долбежного станка» произведем выбор ВА:

$$6 \geq 6 \geq 1,25 \cdot 4,8 = 6 \text{ А},$$

$$0,4 \geq 0,4 \text{ кВ.}$$

Аналогично производим выбор автоматов для всех остальных ЭП и заносим результаты в таблицу 8

Таблица 8 – Результат выбор автоматов

Защищаемый станок	Расчетный ток, А	Автомат	$I_{отк}$ , кА	$I_{н.а}$ , А	$I_{н.р}$ , А
Пилорама	70,6	ВА47-100 3Р	10	100	100
Вентилятор	10	ВА47-29 3Р	4,5	13	13
Вентилятор сушильной камеры	6	ВА47-29 3Р	4,5	8	8
Насос котельной установки	2	ВА47-29 3Р	4,5	3	3
Комплексная линия сборки поддонов	9,6	ВА47-29 3Р	4,5	13	13
Зарядные агрегаты	1,9	ВА47-29 2Р	4,5	3	3
Пресс горячий для щита	132,3	ВА88-33 3Р	35	160	160
Паркетная линия	215,9	ВА88-33 3Р	35	250	250
Станок комбинированный	28,8	ВА47-29 3Р	4,5	40	40
Станок для шкантов	2,2	ВА47-29 3Р	4,5	3	3
Четырехсторонний продольно-фрезерный станок	54,9	ВА47-100 3Р	10	80	80
Долбежный станок	4,8	ВА47-29 3Р	4,5	6	6
Станок токарный деревообрабатывающий	4,9	ВА47-29 3Р	4,5	6	6
Станок ленточнопильный	7	ВА47-29 3Р	4,5	10	10
Автоматическая торцовочная линия	22,5	ВА47-29 3Р	4,5	32	32
Полуавтоматическая линия для сращивания по длине	128,3	ВА88-33 3Р	35	160	160
Станок ленточный плоскошлифовальный	9,6	ВА47-29 3Р	4,5	13	13
Ленточно-делительный станок	52,9	ВА47-100 3Р	10	80	80
Покрасочные камеры	2,2	ВА47-29 3Р	4,5	3	3
Установка для пневматической окраски	6,9	ВА47-29 2Р	4,5	10	10
Поршневой компрессор	4,4	ВА47-29 3Р	4,5	6	6

«Автоматический выключатель, для групповой линии с несколькими ЭД выбирается согласно условиям:

$$I_{н.а} \geq I_{н.р} \geq 1,1 \cdot I_p, \quad (27)$$

где:  $I_{н.р}$  – номинальный ток расцепителя, А;

$I_{н.а}$  – номинальный ток автомата, А;

$I_p$  – расчетный ток узла, А.

$$U_{н.а} \geq U_c, \quad (28)$$

где:  $U_{н.а}$  – номинальное напряжение автомата, В;

$U_c$  – номинальное напряжение сети, В» [12, с. 31].

На примере «ЩР 4» произведем выбор автомата:

Расчетный ток с учетом освещения, для «Столярного цехв» равен

$$I_p = 185,8 \text{ А}$$

$$250 \geq 250 \geq 1,1 \cdot 185,8$$

$$0,4 \geq 0,4,$$

Согласно выше приведенным условиям выбираем автомат ВА88-33 ЗР, и заносим его параметры в таблицу 9, аналогично производим выбор для остальных распределительных щитов и щитов освещения.

Нагрузка ЩР2 невелика, и поэтому осуществление питания посредством прокладки в земле кабеля малого сечения – нецелесообразно. Питание данного щита выполним от ЩР1, поэтому при выборе вводного автомата для первого щита принимаем в расчет и нагрузку второго.

Таблица 9 – Результат выбора вводных автоматов ЩР/ОЩВ

Щит	Вводной автомат	$I_{отк}, \text{кА}$	$I_{н.а}, \text{А}$	$I_{н.р}, \text{А}$
ЩР 1	ВА47-100 3Р	10	100	100
ЩР 2	ВА47-29 3Р	4,5	20	20
ЩР 3	ВА88-33 3Р	35	315	315
ЩР 4	ВА88-33 3Р	35	250	250
ЩР 5	ВА47-29 3Р	4,5	40	40
ОЦВ1	ВА47-29 3Р	4,5	3	3
ОЦВ2	ВА47-29 3Р	4,5	3	3
ОЦВ3	ВА47-29 3Р	4,5	6	6
ОЦВ3.1	ВА47-29 3Р	4,5	3	3
ОЦВ3.2	ВА47-29 3Р	4,5	3	3
ОЦВ4	ВА47-29 3Р	4,5	6	6
ОЦВ5	ВА47-29 3Р	4,5	3	3
ОЦВ6	ВА47-29 3Р	4,5	3	3
ОЦВ7	ВА47-29 3Р	4,5	3	3

#### 2.2.4 Выбор кабелей

Так-как помещение является пожароопасным, то для питания электроприемников требуется специализированный кабель. Одним из таких кабелей является ППГнг(А)-HF, он удовлетворяет всем необходимым параметрам, но так как он не имеет брони, то требуется дополнительная защита от внешних механических повреждений. В распоряжении предприятия имеется большое количество стальных труб разнообразных сечений, поэтому прокладку проводника ППГнг(А)-HF, принимаем в имеющихся трубах.

«Проводники для линии электроснабжения, с учетом соответствия аппарату защиты согласно условию:

$$I_{доп} \geq K_{зщ} \cdot I_{у п} = K_{зщ} \cdot 1,25 \cdot I_{н.р}, \quad (29)$$

где:  $K_{зщ} = 1,25$  – коэффициент защиты, для пожароопасных помещений;

$I_{у(п)}$  – ток уставки теплового расцепителя» [12, с. 34].

На примере пилорамы произведем выбор проводника:

$$I_{\text{доп}} \geq 1,25 \cdot 1,25 \cdot 100 = 156 \text{ А.}$$

Выбираем кабель ППГнг(А)-НФ 45х50,  $I_{\text{доп}} = 167 \text{ А}$

Аналогично производим выбор проводников и заносим результат в таблицу 10

Как говорилось ранее в виду того что нагрузка ЩР2 невелика его питание будет осуществляться через ЩР1, для питания примем пятижильный кабель марки ППГнг(А)-НФ.

Таблица 10 – Результаты выбора кабелей

Питаемый станок/ЩР	$I_{\text{н.р}}, \text{ А}$	$S, \text{ мм}^2$	$I_{\text{доп}}, \text{ А}$	$r_0, \text{ МОм м}$	$I_{\text{кз.доп}}, \text{ кА}$
ЩР1-ЩР2	11	5х1,5	21	12,6	0,17
ЩР1-ОЩВ1	3	5х1,5	21	12,6	0,17
ЩР2-ОЩВ2	3	5х1,5	21	12,6	0,17
ЩР3-ОЩВ3	6	5х1,5	21	12,6	0,17
ОЩВ3-ОЩВ3.1	3	5х1,5	21	12,6	0,17
ОЩВ3-ОЩВ3.2	3	5х1,5	21	12,6	0,17
ЩР4-ОЩВ4	6	5х1,5	21	12,6	0,17
ЩР5-ОЩВ5	3	5х1,5	21	12,6	0,17
Пилорама	100	5х50	167	0,4	5,2
Вентилятор	13	5х1,5	21	12,6	0,17
Вентилятор сушильной камеры	8	5х1,5	21	12,6	0,17
Насос котельной установки	3	5х1,5	21	12,6	0,17
Комплексная линия сборки поддонов	13	5х1,5	21	12,6	0,17
Зарядные агрегаты	3	3х1,5	21	12,6	0,17
Пресс горячий для щита	160	5х95	261	0,2	10,5
Паркетная линия	250	5х185	397	0,1	20,4
Станок комбинированный	40	5х10	63	1,8	1,1
Станок для шкантов	3	5х1,5	21	12,6	0,17
Четырехсторонний продольно-фрезерный ста-	80	5х35	137	0,5	3,9

НОК					
Долбежный станок	6	5x1,5	21	12,6	0,17

Продолжение таблицы 10

Станок токарный деревообрабатывающий	6	5x1,5	21	12,6	0,17
Питаемый станок/ЩР	$I_{н.р}, А$	$S, мм^2$	$I_{доп}, А$	$r_0, МОМ м$	$I_{кз.доп}, кА$
Станок ленточнопильный	10	5x1,5	21	12,6	0,17
Автоматическая торцовочная линия	32	5x10	63	1,8	1,1
Полуавтоматическая линия для сращивания по длине	160	5x95	261	0,2	10,5
Станок ленточный плоскошлифовальный	13	5x1,5	21	12,6	0,17
Ленточно-делительный станок	80	5x35	137	0,5	3,9
Покрасочные камеры	3	5x1,5	21	12,6	0,17
Установка для пневматической окраски	10	3x1,5	21	12,6	0,17
Поршневой компрессор	6	5x1,5	21	12,6	0,17

Для питания от КТП, щитов освещения и распределительных щитов (кроме ЩР2) принимаем кабель марки ВБШвнг(А), прокладка кабелей осуществляется в земле. Прокладку кабелей с малым сечением ( $S \leq 10 мм^2$ ) выполним в гофрированных трубах. Результат заносим в таблицу 11.

Таблица 11 - Результаты выбора кабелей, питающих ЩР/ОЩВ от КТП

Щит	$I_{н.р}, А$	$S, мм^2$	$I_{доп}, А$	$r_0, МОМ м$	$I_{кз.доп}, кА$
ЩР1	100	4x25	133	0,73	2,78
ЩР 3	315	4x185	405	0,1	20,39
ЩР 4	250	4x120	317	0,15	13,21
ЩР 5	40	4x6	59	3,08	0,65
ОЩВ6	3	4x1,5	21	12,6	0,17
ОЩВ7	3	4x1,5	21	12,6	0,17

## 2.3 Расчет токов короткого замыкания

Расчет токов короткого замыкания необходим для анализа и окончательного выбора защитной аппаратуры и кабелей.

«Для выбора и проверки электрооборудования по условиям к.з. необходимо рассчитать:

- 1) начальное значение периодической составляющей тока к.з.;
- 2) апериодическую составляющую тока к.з.;
- 3) ударный ток к.з.» [13, с. 150].

«При расчетах токов к.з. необходимо учитывать:

1) индуктивные сопротивления всех элементов короткозамкнутой цепи: основные трансформаторы, проводники, трансформаторы тока, реакторы, токовые катушки автоматических выключателей;

2) активные сопротивления элементов к.з. цепи;

3) активные сопротивления различных контактов и контактных соединений;

4) значения параметров синхронных и асинхронных электродвигателей.» [13, с. 150].

На рисунке 2 приведена электрическая схема, основываясь на которой будем производить расчет токов к.з.

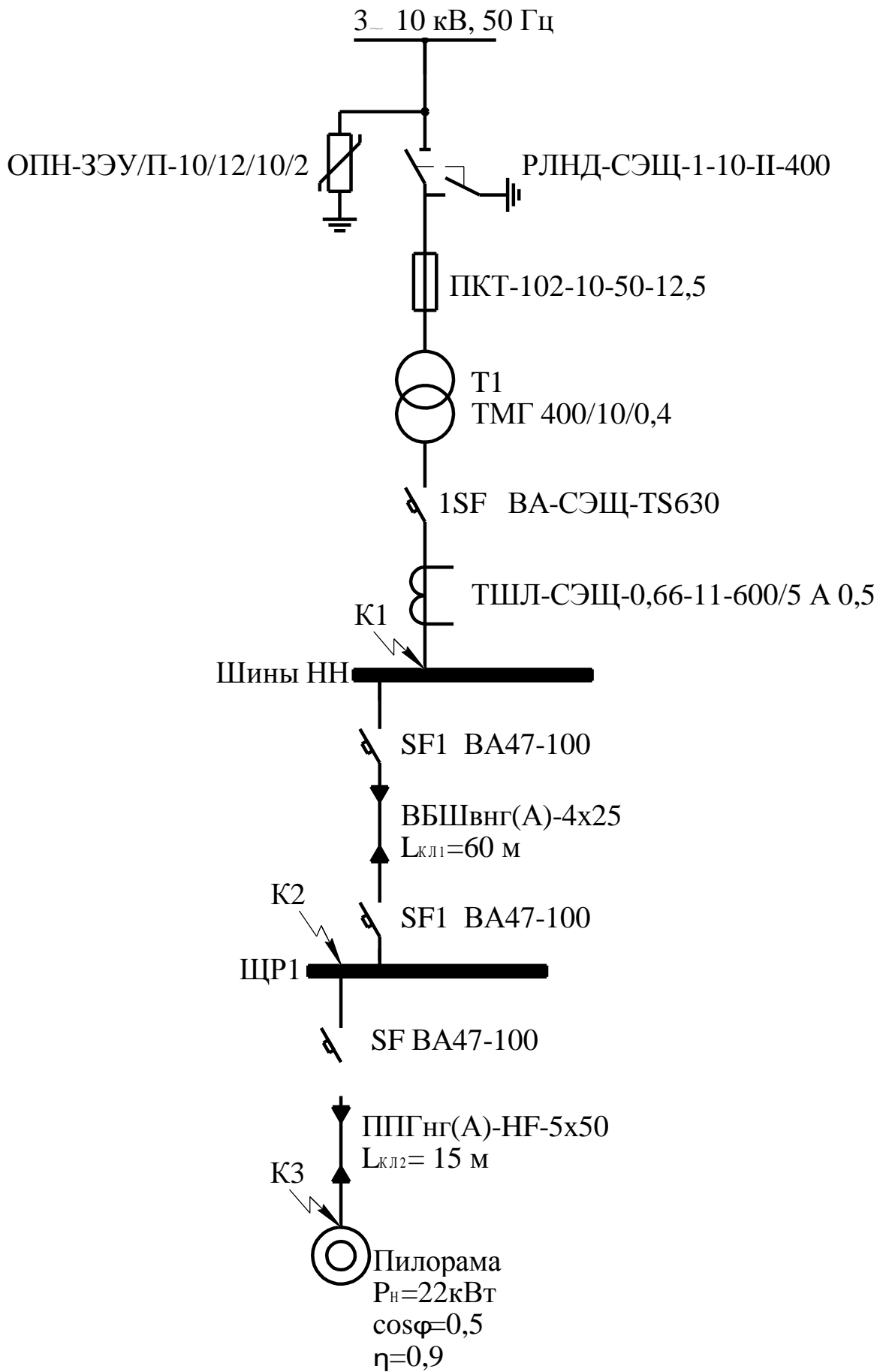


Рисунок 2 – Электрическая схема



Составим схему замещения (рисунок 3), с нанесением на нее всех сопротивлений элементов. При условии, что «сопротивлениями ТТ с первичными токами более 500 А пренебрегают» [13, с. 151].

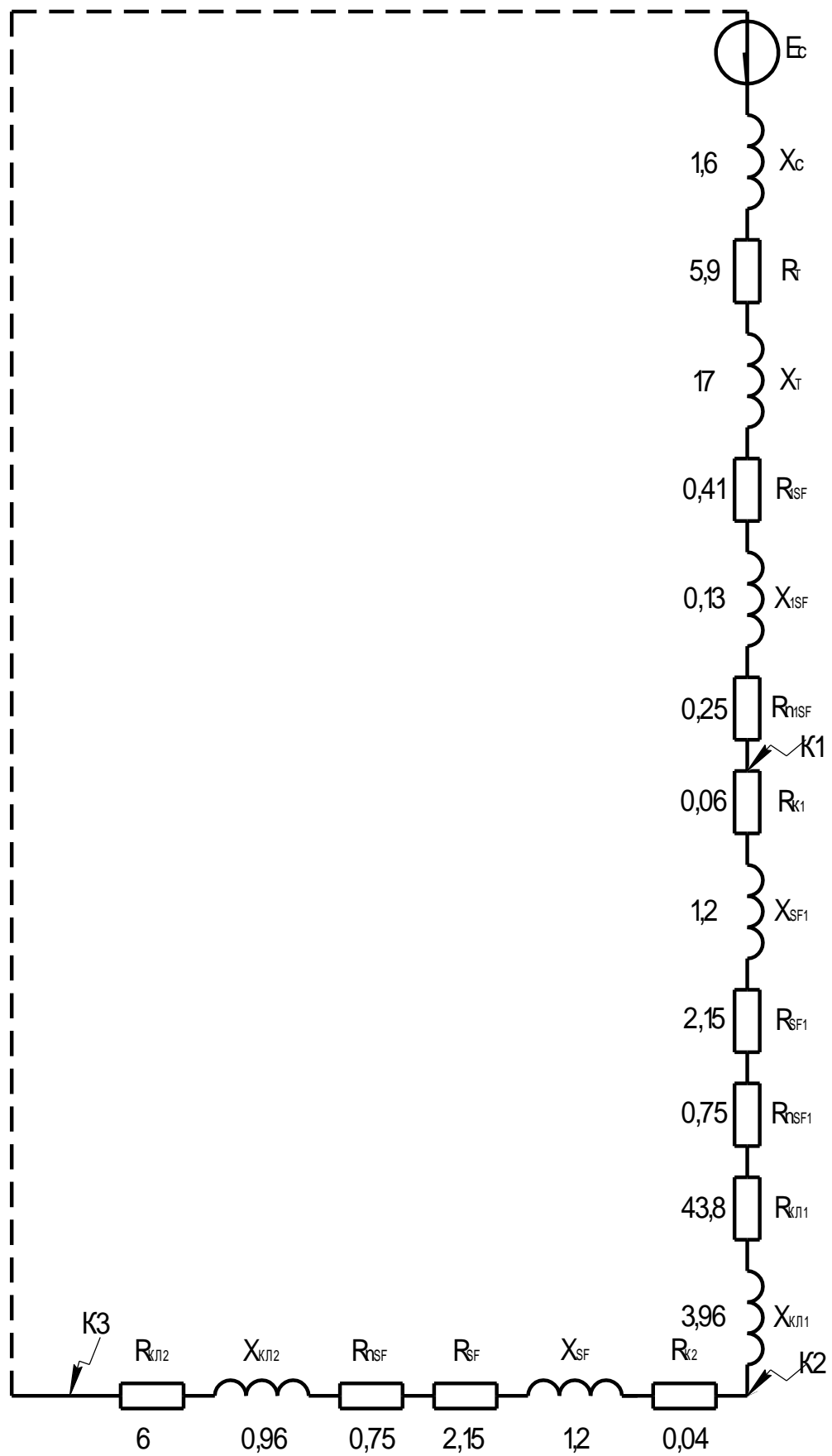


Рисунок 3 – Схема замещения

«Сопротивление системы может быть рассчитано по формуле:

$$X_c = \frac{U_{\text{НН}}^2}{S_k} \cdot 10^{-3}, \text{ мОм}, \quad (30)$$

где:  $S_k$  – мощность к.з. у выводов ВН трансформатора, МВА;

$U_{\text{НН}}$  – напряжение ступени НН трансформатора, В» [13, с. 152].

Предприятие запитано от системы с  $S_k = 100$  МВА

Произведем расчет сопротивлений для системы:

$$X_c = \frac{400^2}{100} \cdot 10^{-3} = 1,60 \text{ мОм}.$$

Активное и индуктивное сопротивление трансформатора определим по [13, с. 155]:

$$R_T = 5,90 \text{ мОм},$$

$$X_T = 17,00 \text{ мОм}.$$

Сопротивления катушек и контактов выключателей, а также активные сопротивления разъемных контактов выключателей берем из [13, с. 155].:

$$1\text{SF}: R_{1\text{SF}} = 0,41 \text{ мОм}, X_{1\text{SF}} = 0,13 \text{ мОм}, R_{n1\text{SF}} = 0,25 \text{ мОм};$$

$$\text{SF1}: R_{\text{SF1}} = 2,15 \text{ мОм}, X_{\text{SF1}} = 1,20 \text{ мОм}, R_{n\text{SF1}} = 0,75 \text{ мОм};$$

$$\text{SF}: R_{\text{SF}} = 2,15 \text{ мОм}, X_{\text{SF}} = 1,20 \text{ мОм}, R_{n\text{SF}} = 0,75 \text{ мОм}.$$

Сопротивления контактных соединений кабелей берем из [13, с. 155]:

$$R_{\text{K1}} = 0,064 \text{ мОм},$$

$$R_{\text{K2}} = 0,043 \text{ мОм}.$$

«Сопротивления кабельных линий рассчитываются по формулам:

$$R_{\text{КЛ}} = r_0 \cdot L_{\text{КЛ}}, \text{ мОм}, \quad (31)$$

$$X_{\text{КЛ}} = x_0 \cdot L_{\text{КЛ}}, \text{ мОм}, \quad (32)$$

где:  $r_0$  – удельное сопротивление жил кабеля, мОм/м;

$L_{\text{КЛ}}$  – длина кабеля, м» [13, с. 152].

Произведем расчет сопротивлений кабельных линий:

КЛ1:

$$R_{\text{КЛ1}} = 0,73 \cdot 60 = 43,80 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{КЛ1}} = 0,066 \cdot 60 = 3,96 \text{ мОм}.$$

КЛ2:

$$R_{\text{КЛ2}} = 0,4 \cdot 15 = 6,00 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{КЛ2}} = 0,064 \cdot 15 = 0,96 \text{ мОм}.$$

Найдем эквивалентные сопротивления для трех точек к.з.:

Для К1:

$$R_{\text{К1сум}} = R_{\text{T}} + R_{\text{1SF}} + R_{\text{n1SF}} = 5,9 + 0,41 + 0,25 = 6,56 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{К1сум}} = X_{\text{C}} + X_{\text{T}} + X_{\text{1SF}} = 1,6 + 17 + 0,13 = 18,73 \text{ мОм},$$

$$Z_{\text{К1сум}} = \sqrt{R_{\text{К1сум}}^2 + X_{\text{К1сум}}^2} = \sqrt{6,56^2 + 18,73^2} = 19,8 \text{ мОм}.$$

Для К2:

$$\begin{aligned} R_{\text{К2сум}} &= R_{\text{К1сум}} + R_{\text{К1}} + R_{\text{SF1}} + R_{\text{nSF1}} + R_{\text{КЛ1}} = \\ &= 6,56 + 0,064 + 2,15 + 0,75 + 43,8 = 53,32 \text{ мОм}, \end{aligned}$$

$$X_{\text{К2сум}} = X_{\text{К1сум}} + X_{\text{SF1}} + X_{\text{КЛ1}} = 18,73 + 1,2 + 3,96 = 23,89 \text{ мОм},$$

$$Z_{\text{К2сум}} = \sqrt{R_{\text{К2сум}}^2 + X_{\text{К2сум}}^2} = \sqrt{53,32^2 + 23,89^2} = 58,4 \text{ мОм}.$$

Для КЗ:

$$\begin{aligned}R_{K3\text{сум}} &= R_{K2\text{сум}} + R_{K2} + R_{SF} + R_{nSF} + R_{KL2} = \\&= 53,32 + 0,043 + 2,15 + 0,75 + 6 = 62,26 \text{ мОм}, \\X_{K3\text{сум}} &= X_{K2\text{сум}} + X_{SF} + X_{KL2} = 23,89 + 1,2 + 0,96 = 26,05 \text{ мОм}, \\Z_{K3\text{сум}} &= \sqrt{R_{K3\text{сум}}^2 + X_{K3\text{сум}}^2} = \sqrt{62,26^2 + 26,05^2} = 67,5 \text{ мОм}.\end{aligned}$$

«Начальное действующее значение периодической составляющей тока трехфазного к.з. при питании от энергосистемы через понижающий трансформатор определяют по формуле:

$$I_K^3 = \frac{U_{НН}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K\text{сум}}}, \text{ кА}, \quad (33)$$

где:  $U_{НН}$  – напряжение на стороне НН трансформатора, В;

$Z_{K1\text{сум}}$  – полное сопротивление прямой последовательности, мОм»

[13, с. 152].

Выполним расчет токов:

$$I_{K1}^3 = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 19,8} = 11,7 \text{ кА},$$

$$I_{K2}^3 = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 58,4} = 3,95 \text{ кА},$$

$$I_{K3}^3 = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 67,5} = 3,42 \text{ кА}.$$

«Расчет аperiodической составляющей тока к.з. в начальный момент к.з. ведется по формуле:

$$i_{ao} = \sqrt{2} \cdot I_K^3, \text{ кА}, \quad (34)$$

где:  $I_K^3$  – периодическая составляющая тока трехфазного к.з.» [13, с. 153].

Выполним расчет токов:

$$i_{aoK1} = \sqrt{2} \cdot 11,7 = 16,5 \text{ кА},$$

$$i_{aoK2} = \sqrt{2} \cdot 3,95 = 5,6 \text{ кА},$$

$$i_{aoK3} = \sqrt{2} \cdot 3,42 = 4,8 \text{ кА}.$$

«Расчет ударного тока к.з. в ЭУ при питании от энергосистемы выполняется по формуле:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_K^3 \cdot K_{уд}, \text{ кА}, \quad (35)$$

где:  $K_{уд}$  – ударный коэффициент» [13, с. 153].

Выполним расчет токов:

Значение  $K_{уд}$  определим по [13, с. 156].:

$$K_{удK1} = 1,4, K_{удK2} = 1, K_{удK3} = 1.$$

$$i_{удK1} = \sqrt{2} \cdot 11,7 \cdot 1,4 = 23,2 \text{ кА},$$

$$i_{удK2} = \sqrt{2} \cdot 3,95 \cdot 1 = 5,6 \text{ кА},$$

$$i_{удK3} = \sqrt{2} \cdot 3,42 \cdot 1 = 4,8 \text{ кА}.$$

«Расчет тока двухфазного к.з. выполняется по формуле:

$$I_K^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_K^3, \text{ кА}, \quad (36)$$

где:  $I_K^3$  - периодическая составляющая тока трехфазного к.з.» [13, с. 152].

Выполним расчет токов:

$$I_{K1}^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 11,7 = 10,1 \text{ кА},$$

$$I_{K2}^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3,95 = 3,4 \text{ кА},$$

$$I_{K3}^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3,42 = 2,9 \text{ кА},$$

Далее произведем расчет токов однофазных коротких замыканий, для этого составим схему замещения нулевой последовательности (рисунок 4)

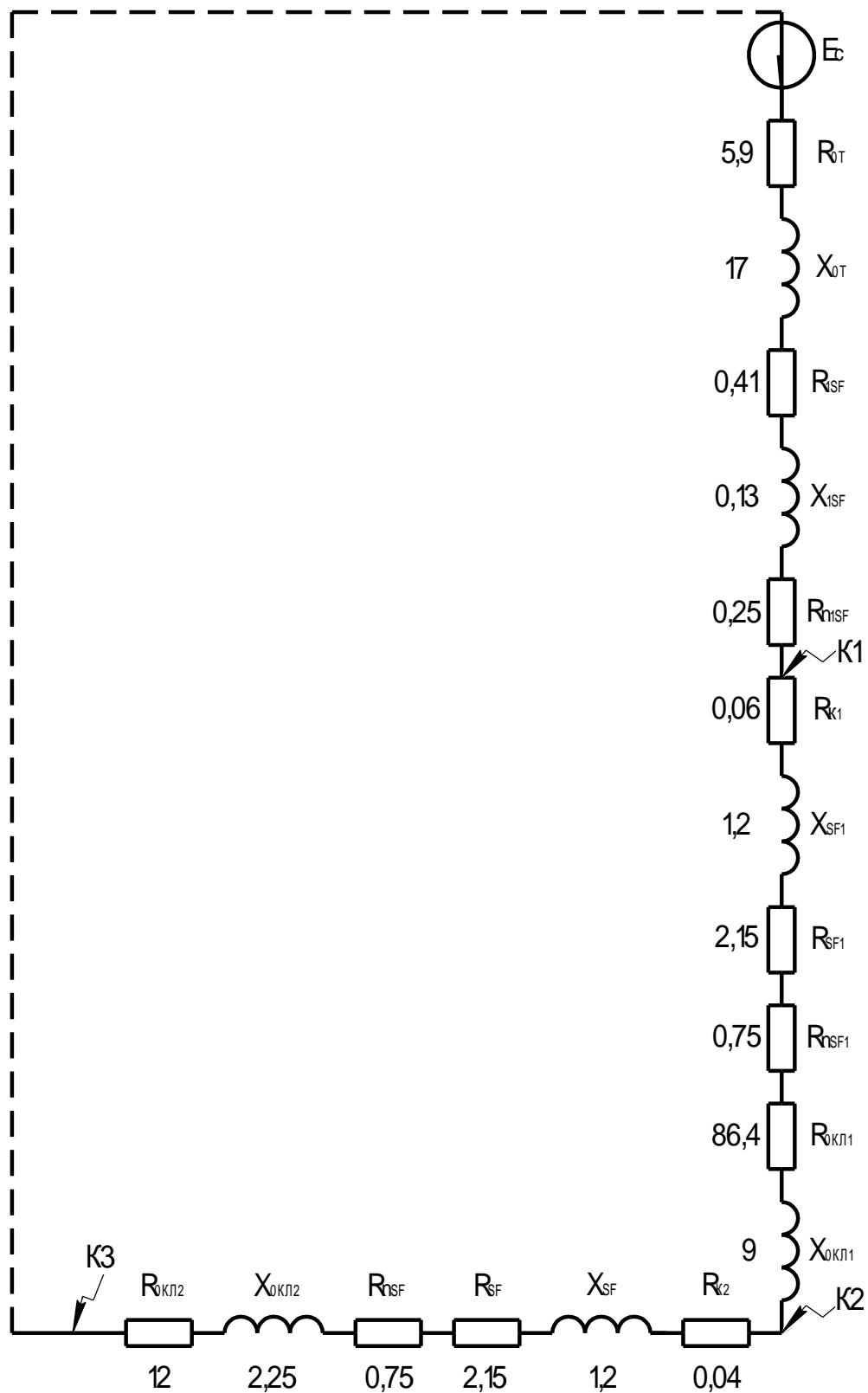


Рисунок 4 – Схема замещения нулевой последовательности

Активное и индуктивное сопротивление нулевой последовательности трансформатора, а также полное сопротивление трансформатора однофазному к.з., определим по [13, с. 155]:



$$R_{0T} = 5,90 \text{ мОм},$$

$$X_{0T} = 17,00 \text{ мОм},$$

$$\frac{Z_T^1}{3} = 18,7 \text{ мОм}.$$

Сопротивления нулевой последовательности катушек, контактов выключателей и разъемных контактов выключателей равны сопротивлениям прямой последовательности. Для расчета будем использовать значения сопротивлений прямой последовательности:

$$1SF: R_{1SF} = 0,41 \text{ мОм}, X_{1SF} = 0,13 \text{ мОм}, R_{n1SF} = 0,25 \text{ мОм};$$

$$SF1: R_{SF1} = 2,15 \text{ мОм}, X_{SF1} = 1,20 \text{ мОм}, R_{nSF1} = 0,75 \text{ мОм};$$

$$SF: R_{SF} = 2,15 \text{ мОм}, X_{SF} = 1,20 \text{ мОм}, R_{nSF} = 0,75 \text{ мОм}.$$

Сопротивления нулевой последовательности контактных соединений кабелей, аналогичны сопротивлениям выключателей, которые равны сопротивлениям прямой последовательности. Для расчета используем значения сопротивлений прямой последовательности:

$$R_{K1} = 0,064 \text{ мОм},$$

$$R_{K2} = 0,043 \text{ мОм}.$$

«Сопротивления нулевой последовательности кабельных линий рассчитываются по формулам:

$$R_{0КЛ} = r_{нп} \cdot L_{КЛ}, \text{ мОм}, \quad (37)$$

$$X_{0КЛ} = x_{нп} \cdot L_{КЛ}, \text{ мОм}, \quad (38)$$

где:  $r_{нп}$  – удельное сопротивление нулевой последовательности жил кабеля, мОм/м;

$L_{КЛ}$  – длина кабеля, м» [13, с. 155].

Произведем расчет сопротивлений кабельных линий:

КЛ1:

$$R_{0КЛ1} = 1,44 \cdot 60 = 86,40 \text{ мОм},$$

$$X_{0КЛ1} = 0,15 \cdot 60 = 9,00 \text{ мОм.}$$

КЛ2:

$$R_{0КЛ2} = 0,8 \cdot 15 = 12,00 \text{ мОм,}$$

$$X_{0КЛ2} = 0,15 \cdot 15 = 2,25 \text{ мОм.}$$

Далее аналогично расчету токов трехфазных к.з., найдем эквивалентные сопротивления для трех точек к.з.:

Для К1:

$$R_{0К1\text{сум}} = R_{0Т} + R_{1SF} + R_{n1SF} = 5,9 + 0,41 + 0,25 = 6,6 \text{ мОм,}$$

$$X_{0К1\text{сум}} = X_{0Т} + X_{1SF} = 17 + 0,13 = 17,1 \text{ мОм,}$$

$$Z_{0К1\text{сум}} = \sqrt{R_{0К1\text{сум}}^2 + X_{0К1\text{сум}}^2} = \sqrt{6,6^2 + 17,1^2} = 18,3 \text{ мОм.}$$

Для К2:

$$R_{0К2\text{сум}} = R_{0К1\text{сум}} + R_{К1} + R_{SF1} + R_{nSF1} + R_{0КЛ1} = \\ = 6,56 + 0,064 + 2,15 + 0,75 + 86,4 = 95,9 \text{ мОм,}$$

$$X_{0К2\text{сум}} = X_{0К1\text{сум}} + X_{SF1} + X_{0КЛ1} = 17,13 + 1,2 + 9 = 27,3 \text{ мОм,}$$

$$Z_{0К2\text{сум}} = \sqrt{R_{0К2\text{сум}}^2 + X_{0К2\text{сум}}^2} = \sqrt{95,9^2 + 27,3^2} = 99,7 \text{ мОм.}$$

Для К3:

$$R_{0К3\text{сум}} = R_{0К2\text{сум}} + R_{К2} + R_{SF} + R_{nSF} + R_{0КЛ2} = \\ = 95,87 + 0,043 + 2,15 + 0,75 + 12 = 110,8 \text{ мОм,}$$

$$X_{0К3\text{сум}} = X_{0К2\text{сум}} + X_{SF} + X_{0КЛ2} = 27,33 + 1,2 + 2,25 = 30,8 \text{ мОм,}$$

$$Z_{0КЗсум} = \sqrt{R_{0КЗсум}^2 + X_{0КЗсум}^2} = \sqrt{110,8^2 + 30,8^2} = 115,0 \text{ мОм.}$$

«Для определения тока однофазного к.з. используется следующая формула:

$$I_{К}^1 = \frac{U_{Кф}}{Z_{Т}^1 + Z_{0сум}}, \text{ кА,} \quad (39)$$

где:  $U_{Кф}$  – фазное напряжение в точке к.з., кВ;

$Z_{Т}^1$  – полное сопротивление трансформатора однофазному к.з., мОм;

$Z_{0сум}$  – полное сопротивление петли (фаза-нуль) до точки к.з., мОм» [13, с. 154].

Выполним расчет токов:

$$I_{К1}^1 = \frac{230}{18,7 + 18,3} = 6,2 \text{ кА,}$$

$$I_{К2}^1 = \frac{230}{18,7 + 99,7} = 1,9 \text{ кА,}$$

$$I_{К3}^1 = \frac{230}{18,7 + 115} = 1,7 \text{ кА.}$$

По вышеописанным формулам выполним расчет токов к.з. для остальных цехов, результаты сведем в таблицу 12. Дополнительно в данную таблицу внесем отключающую способность выбранных автоматических выключателей и допустимый ток односекундного короткого замыкания кабелей для дальнейшего анализа их пригодности.

Таблица 12 – Сводная таблица токов к.з.

Точка к.з.	$I_{отк}, \text{кА}$	$I_{кз.доп}, \text{кА}$	$i_{аок}, \text{кА}$	$i_{удк}, \text{кА}$	$I_{к}^3, \text{кА}$	$I_{к}^2, \text{кА}$	$I_{к}^1, \text{кА}$
К1	65	-	16,5	23,2	11,7	10,1	6,2
К2	10	2,78	5,6	5,6	3,9	3,4	1,9
К3	10	5,2	4,8	4,8	3,4	2,9	1,7
К4	35	20,39	13,1	14,4	9,3	8,0	4,7
К5	35	13,21	12,0	12,6	8,5	7,4	4,3
К6	4,5	0,65	1,6	1,6	1,1	0,9	0,7
К7	35	20,4	12,3	14,1	8,7	7,5	4,5
К8	35	10,5	11,0	12,1	7,8	6,7	4,0
К9	4,5	0,17	1,0	1,0	0,7	0,6	0,4

По данным вышеприведенной таблицы 12, видно, что все выбранное оборудование может выполнить все необходимые требования, а именно выключатели могут отключить токи короткого замыкания, а кабели выдержать токи перегрузки, пока они не исчезнут или пока не будут отключены тепловым расцепителем.

## 2.4 Анализ затрат

Для запуска производства требуется выбрать все необходимое оборудование проводники и т.д. С одной стороны, можно выбрать самое надежное и качественное оборудование, но это будет очень дорого стоить, что для нашего случая является неприемлемым. Поэтому принимает в основу выбора оптимальное соотношение цена/качество, к примеру, для выбора защитной аппаратуры (автоматических выключателей) выберем компанию «iЕК», продукция которой распространена на всей территории России и пользующаяся достойной репутацией, в плане качества.

Для полного анализа затрат необходимых для запуска производства, сведем все затраты в таблицу 13.

Таблица 13 – Сводная ведомость затрат

Наименование выбираемого оборудования	Цена, тыс. руб
КТП-СЭЩ-К (БК)-400/10/0,4-93-У1	200
ТМГ-400/10/0.4-СЭЩ	300
Светильники ARCTIC 258 (PC/SMC) HF ES1, с учетом годовых затрат на электроэнергию	998
Проводники марки ППГнг(А)-HF с сечениями:	
3x1,5	2
5x1,5	18
5x10	12
5x35	29
5x50	15
5x95	88
5x185	89
Проводники марки ВБШвнг(А) с сечениями	
4x10	86
4x50	90
4x120	121
4x185	91
Автоматические выключатели:	
ВА47-100 3Р	4
ВА47-29 3Р	4
ВА88-33 3Р	10
ВА47-29 2Р	1
Щиты распределительные	15
Щиты освещения	14
Электронные компоненты необходимые для защиты от перегрузки самодельных станков	0,5
Итого	2187,5

### **3 Устройство для защиты от перегрузки оборудования с ручной подачей**

Назначение устройства – звуковая (или иная) сигнализация о превышении нагрузки на электродвигатель. При этом количество порогов срабатывания может быть различным, как и используемый исполнительный механизм. Предположительно, отключение устройства должно происходить при превышении рабочим током электродвигателя величины, установленной в процессе экспериментальных исследований. Для начала будем полагать, что это 120% номинального рабочего тока. В процессе работы указанное значение может быть скорректировано.

Звуковая сигнализация должна срабатывать в качестве предупреждения о приближении к порогу отключения электродвигателя. Количество порогов, по нашему мнению, должно быть не менее 2. Данное устройство, по предварительным подсчетам, должно быть достаточно дешевым, так как не содержит дорогостоящих компонентов, поэтому примем решение на каждый порог применить отдельное устройство звуковой сигнализации. Такой подход обеспечит большую надежность работы всего оборудования.

Поскольку речь идет о сравнении рабочего тока с некоторым установленным пороговым значением, схема должна содержать компараторы, то есть устройства, специально предназначенные для сравнения электрических сигналов.

Электронная промышленность предлагает множество вариантов данных устройств, большинство из которых подходит для решения нашей задачи. Среди них выделим компараторы напряжения, то есть устройства, сравнивающие напряжения на двух своих входах.

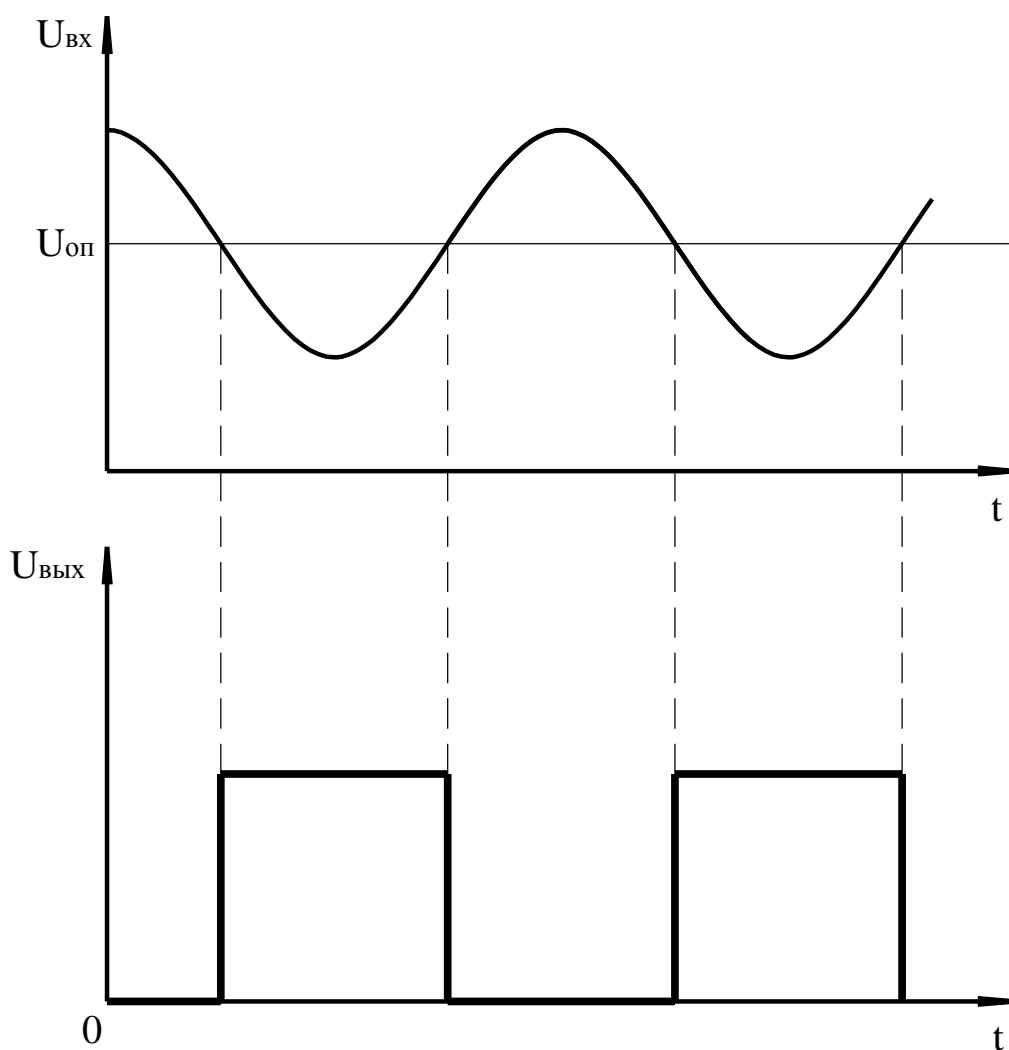


Рисунок 5 – Принцип работы компаратора

На рисунке 5 показана графическое изображение принципа режима работы компаратора. В данной схеме опорное напряжение составляет половину напряжения питания, а входное напряжение в теории может меняться от нуля до напряжения питания.

Различают пороговые и гистерезисные компараторы. Их разница заключается в том, что пороговые переключаются при одном значении входных сигналов, а гистерезисные – при разных. Недостатком пороговых является «электронный дребезг», то есть быстроменяющийся выходной сигнал при близких значениях входных напряжений. Это может быть, например, из-за влияния помех. Гистерезисный компаратор содержит внутреннюю положительную обратную связь, исключая данное нежелательное явления. В принципе, такая обратная связь может быть реализована на пороговом компараторе за счет все-

го одного резистора. Таким образом, можно применять и пороговые компараторы, тем более, регулировка глубины обратной связи может оказаться полезной при настройке разрабатываемого устройства.

В таблице 14 приведены характеристики наиболее популярных компараторов отечественного и зарубежного производства.

Таблица 14 – Характеристики компараторов

Наименование	$U_{пит}, В$	Пороговый/ Гистерезисный	$I_{вых макс},$ мА	Примечание
TL714С	5	Гистерезисный	40	Частота переключения до 50 Гц
SE521	$\pm 5 \dots \pm 15$	Пороговый	25	Открытый коллектор
AD790	$+5 \dots \pm 15$	Гистерезис	10	Открытый коллектор
521CA2	+12;-6	Пороговый	2,5	Аналог mA710
521CA3	$\pm 3 \dots \pm 15$	Пороговый	50	Открытый коллектор и эмиттер
LM-339	2...36	Пороговый	18	Открытый коллектор

Выберем счетверённый компаратор LM-339 с открытым коллектором и однополярным питанием, так как его выходной транзистор по нагрузочной способности может управлять оптронами типа МОС-3063 ( $I_{вх.ном} = 5 \text{ мА}$ ), которые удобны для управления симисторами с рабочим током до 40 А, например, ВТА-41. Такие симисторы планируется использовать для управления устройствами звуковой сигнализации и реле отключения электродвигателя. Ниже приведены его более подробные характеристики и цоколевка.



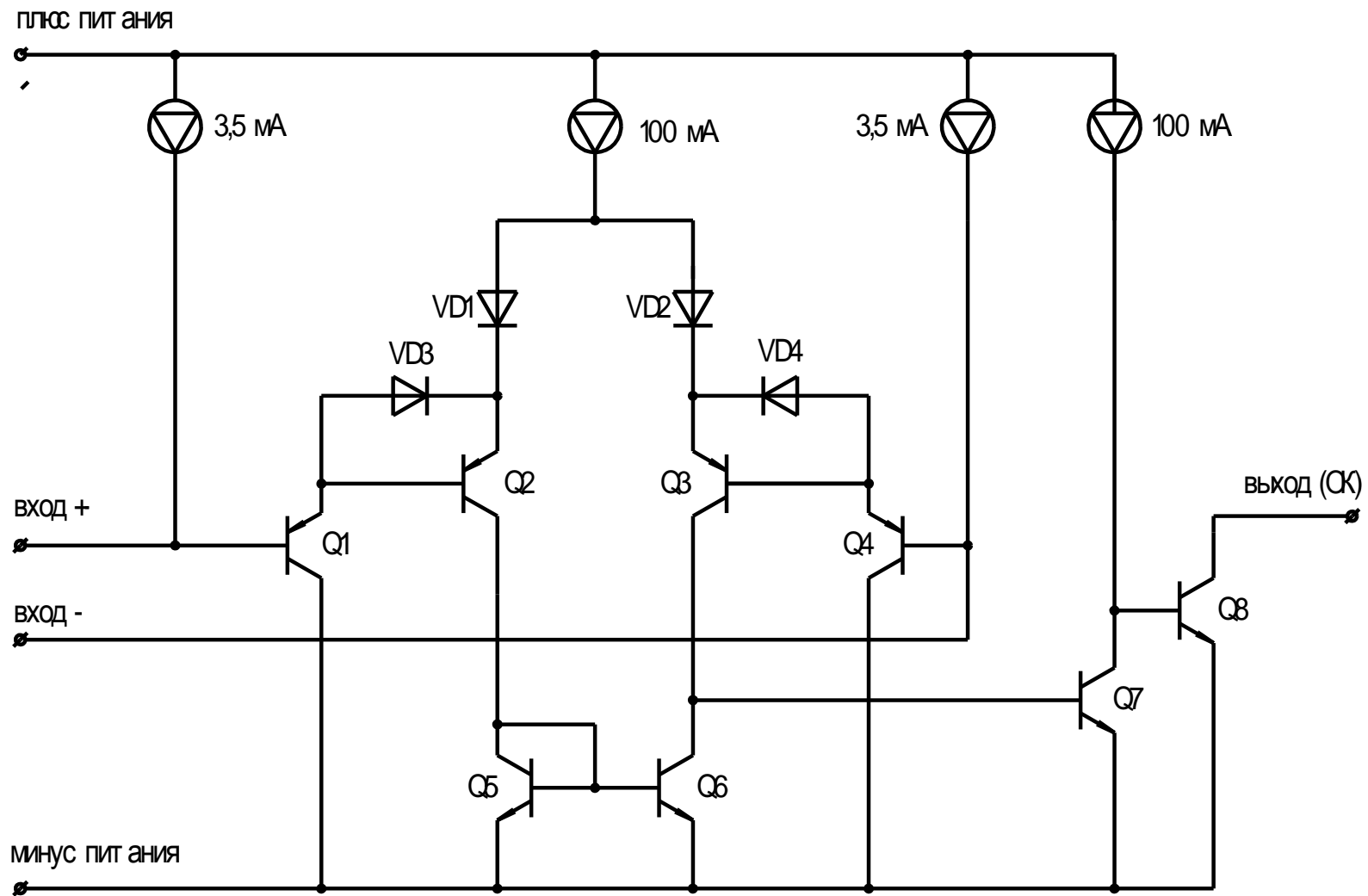


Рисунок 6 - Структурная схема одного компаратора, входящего в микросхему LM-339

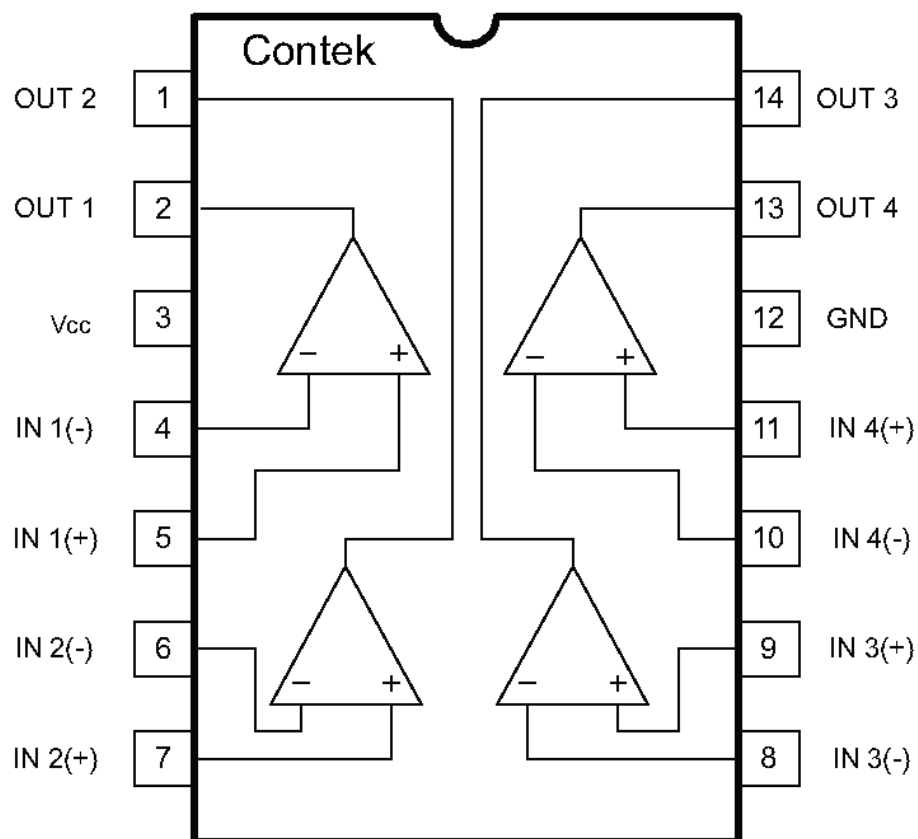


Рисунок 7 – Цоколевка выводов

Таблица 15 - Назначение выводов

№	Назначение	№	Назначение
1	Выход 2	8	Инвертирующий вход 3
2	Выход 1	9	Неинвертирующий вход 3
3	+ Питания	10	Инвертирующий вход 4
4	Инвертирующий вход 1	11	Неинвертирующий вход 4
5	Неинвертирующий вход 1	12	- Питания (общий)
6	Инвертирующий вход 2	13	Выход 4
7	Неинвертирующий вход 2	14	Выход 3

Принцип работы устройства, сравнивающего два напряжения, иллюстрируется рисунке 5. В данном примере показан только один компаратор из четырех.

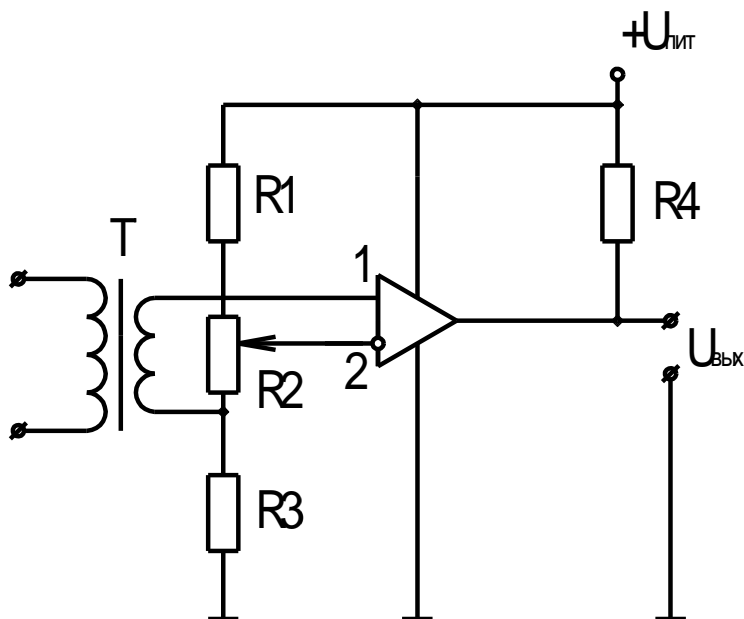


Рисунок 8 – Схема одного компаратора

На инвертирующий вход 2 подается опорное напряжение с резистивного делителя на резисторах R1-R3, а на не инвертирующий – напряжение от вторичной обмотки измерительного трансформатора. Положение регулятора R2 определяет порог срабатывания компаратора. В моменты превышения напряжения на входе 1 напряжения на входе 2 происходит открывание выходного транзистора. При использовании в качестве контрольного сигнала переменного напряжения с выхода трансформатора описанное превышение будет иметь периодический характер, а на выходе появится импульсная последовательность.

В качестве измерительного трансформатора может быть взят стандартный трансформатор тока, нагруженный на шунтовой резистор. Измеряемое напряжение можно в этом случае снимать с шунта. Однако, такой подход руководству организации представляется неоправданно громоздким и малоприменимым для измерения сравнительно небольших токов.

Для конкретного устройства было принято решение изготовить собственный компактный и дешевый измерительный трансформатор. Это допустимо,

поскольку разрабатываемое контрольное устройство не вносит каких-либо изменений в работу оборудования, а лишь сигнализирует о превышении рабочим током заданного порога. Кроме того, предложенный вариант трансформатора даже не потребовал включения в разрыв провода.

Основу измерительного трансформатора составляет обмотка из 100 – 500 витков эмалированного провода сечением 0,1 мм и покрытая внешней изоляцией. Эта обмотка плотно приматывается к одному из питающих проводов стальной отожженной проволокой, выполняющей роль магнитопровода. Таким образом, получается трансформатор, первичная обмотка которого представляет собой неполный виток, образованный участком питающего провода, а вторичной является вышеописанная обмотка. Экспериментально было установлено, что с помощью подобной конструкции можно получать во вторичной обмотке сигнал напряжения, пропорциональный току в первичной обмотке. При этом выходной сигнал имел амплитуду от сотен милливольт до нескольких вольт. Этого с запасом достаточно для работы компараторной схемы.

Как было отмечено выше, выходной сигнал имеет форму импульсной последовательности в случае превышения заданного порогового напряжения, а в отсутствие такого превышения равен нулю. Для преобразования импульсной последовательности в чистый сигнал применим интегрирующую цепочку, как это показано на общей схеме рисунке 9.

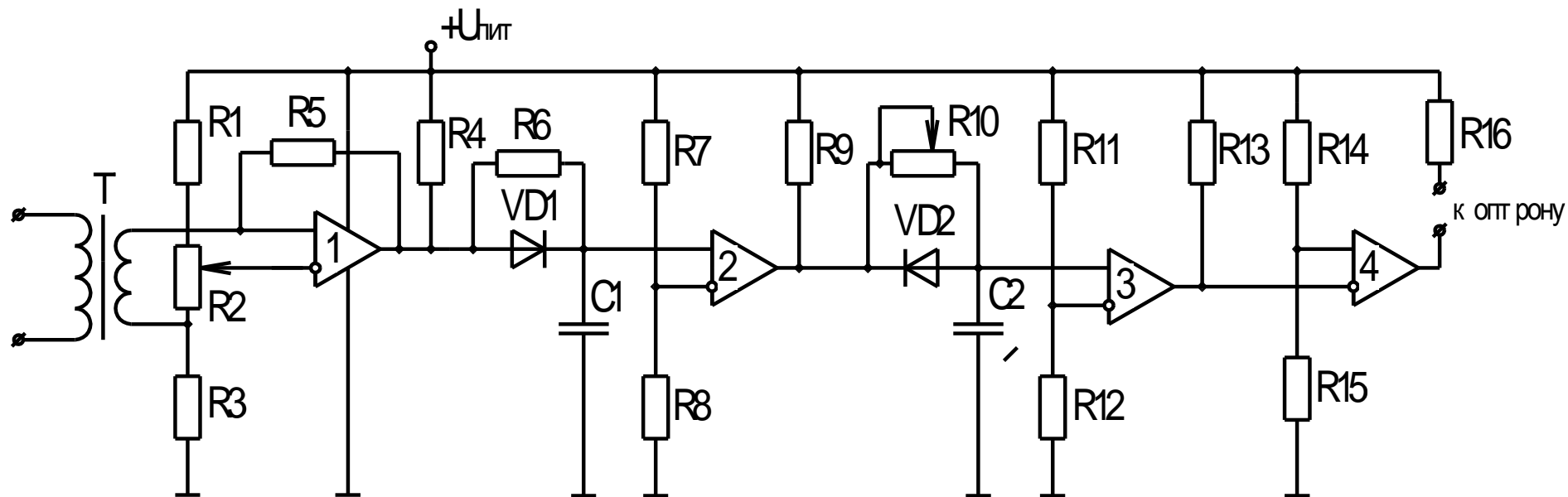


Рисунок 9 – Общая схема устройства

Конденсатор  $C1$  заряжается от импульсов через диод, а разряжается через резистор  $R6$ . Параметры этих элементов подобраны таким образом, что провалы импульсной последовательности заполняются напряжением от конденсатора. Если последовательность исчезает, то шунтирующий резистор  $R6$  обеспечивает разряд конденсатора за время примерно  $0,5 - 1$  с. В результате на выходе компаратора получим сравнительно четкие сигналы логической единицы в виде напряжения питания и логического нуля, соответствующего реальному нулю питающего напряжения.

Для успешной работы схемы необходимо исключить всевозможные случайные кратковременные превышения, которые могут иметь место при ручной подаче. Это можно сделать путем введения в схему линии задержки, которая исключит восприятие кратковременных сигналов. Такая линия может быть выполнена на оставшихся компараторах с применением второй RC-цепочки ( $R10$  и  $C2$ ), настраиваемой на нужную задержку.

Работает схема следующим образом. В отсутствие превышения рабочим током максимального значения на выходе первого компаратора сигнал отсутствует. Если превышение имеет место, то на выходе 1-го компаратора формируется импульсная последовательность, сглаживаемая конденсатором  $C1$ . Этот сглаженный сигнал, поступает на вход второго компаратора, на выходе которого формируется сигнал логической единицы, то есть  $U_{пит}$ . За счет линии задержки на RC- цепочке сигнал на выходе третьего компаратора появляется через заданное время, после чего четвертый компаратор, работающий в ключевом режиме, включает оптрон МОС-3063, активизирующий исполнительный механизм.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выпускная квалификационная работа, изложенная в пояснительной записке и графической части, преследовала цель разработки системы электропитания деревообрабатывающего предприятия.

В результате выполнения работы были рассчитаны ожидаемые электрические нагрузки, которые должна обеспечивать КТП. Нагрузка с учетом освещения составила 357,4 кВА, а мощность выбранного трансформатора 400 кВА. Расчет нагрузки производился по методу коэффициента максимума, а нагрузка освещения в программной среде «DIALux» в которой используется упрощенный метод коэффициента использования светового потока. К установке внутри помещений были приняты светильники типа «ARCTIC 258 (PC/SMC) HF ES1» со встроенным блоком аварийного питания, а для освещения навесов, установленных на улице приняты светильники типа «MATRIX/R LED». Все выбранные светильники имеют высокую степень защиты, необходимую из-за требований и условий эксплуатации.

Исходя из заданных условий и расположения станков, схема электропитания выбрана радиальной. Система питания электроприемников осуществляется пятипроводной сетью. Общая система электропитания и заземления выполним по схеме TN-C-S.

Для обеспечения требуемой защиты людей от поражения электрическим током были предусмотрены следующие защитные меры:

- заземление;
- зануление;
- система уравнивания потенциалов путем заземления всех металлических трубопроводов и другого аналогичного оборудования, которое может оказаться под напряжением при повреждении изоляции электрооборудования.

Далее был произведен предварительный выбор необходимого электрооборудования (защитные аппараты, КТП, проводники) и рассчитаны токи коротких замыканий по параметрам этого оборудования. Анализируя результаты

расчета и параметры выбранных кабелей и автоматических выключателей (таблица 12) был сделан вывод о том, что все выбранные автоматы способны выдержать и отключить ударный ток к.з., а некоторые кабели даже способны выдержать этот ток в течении 1 секунды, принимая это в расчет в дальнейшем можно будет произвести более тщательный подбор уставок аппаратов защиты.

Для обеспечения защиты двигателей самодельных станков от перегрузки было разработано устройство, сигнализирующее о перегрузке двигателя и, при необходимости (например, в случае заклинивания) отключающую его. Данное устройство разработано на основе компаратора.

Для анализа экономических затрат был подобран основной критерий для выбора всех необходимых элементов системы электроснабжения, это оптимальное соотношение цена/качество, данный критерий означает, что для выбора берутся компании имеющие достойное качество продукции и продолжительное существование на российском рынке, при учете не высокой цены на производимую ими продукцию.

Для запуска производства необходимо 2187,5 тыс. руб., основная часть данной суммы берется из имеющихся в бюджете средств (2100 тыс. руб.), оставшихся после завершения строительства основных помещений, а оставшаяся часть (87,5 тыс. руб.) будет взята у будущих заказчиков, посредством предоплаты, указанной в договоре.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 ГОСТ 12.3.042-88. ССБТ. Деревообрабатывающее производство. Общие требования безопасности. Введен с 01.01.90г.
- 2 Правила устройства электроустановок (ПУЭ), 7-е издание, перераб. и доп., с изменениями. М.: Министерство энергетики РФ, 2003г.
- 3 СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение / Госстрой России Введ. 01.01.1996 взамен СНиП II-4-79 с изм. от 29 мая 2003 г. № 44.
- 4 Анчарова Т. В., Рашевская М. А., Стебунова Е. Д. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: учебное пособие. М.: Форум, 2014. 416 с.
- 5 Гужов Н. П., Ольховский В. Я., Павлюченко Д. А. Системы электро-снабжения. Новосибирск: НГТУ, 2015. 258 с.
- 6 Жур А. И. Электрооборудование предприятий и гражданских зданий: учебное пособие. Минск: РИПО, 2016. 308 с.
- 7 Киреева Э. А. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений: учебное пособие. Гриф УМО-Москва: Кнорус, 2015. 233 с.
- 8 Ополева Г. Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учебное пособие. Москва: Инфра-М, 2017. 416 с.
- 9 Привалов Е. Е. Электротехническое материаловедение: учебное пособие. М.-Берлин: Директ-Медиа, 2015. 234 с.
- 10 Привалов Е. Е. Основы электробезопасности: учебное пособие. М.-Берлин: Директ-Медиа, 2016. 154 с.
- 11 Привалов Е. Е. Электротехнические материалы систем электроснабжения: учебное пособие. М.-Берлин: Директ-Медиа, 2016. 266 с.
- 12 Сибикин Ю. Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов: учебное пособие. М.: Форум, 2015. 384 с.
- 13 Сибикин Ю. Д. Основы электроснабжения объектов: учебное пособие. М.-Берлин: Энергия, Директ-Медиа, 2014. 328 с.

14 Секретарев Ю. А. Надежность электроснабжения: учебное пособие. Новосибирск: НГТУ, 2013. 104 с.

15 Стрельников Н. А. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие. Новосибирск: НГТУ, 2013. 100 с.

16 Pereira T. Analysis and monitoring of electrical grounding grid encapsulated with concrete: case study using simulation in finite element method // Journal Title: Transactions on Environment and Electrical Engineering. Poland, 2017. PP. 31-36.

<https://doaj.org/article/19d89f5ddd04b3d869a357f213d2fb0>

17 Peteris A. Power Measurement and Data Logger with High-Resolution for Industrial DC-Grid Application // Journal Title: Electrical, Control and Communication Engineering. Poland, 2015. PP. 36-42.

<https://doaj.org/article/3441558c402541a291f66dab0381fefa>

18 Vilhena N. Design Aspects and Test of an Inductive Fault Current Limiter Application // Journal Title: Electrical, Control and Communication Engineering. Poland, 2014. PP. 40-45.

<https://doaj.org/article/2467378364944c8d94dea812baae1311>

19 Bohuslav L. Backup Power Supply System Analysis // Journal Title: Electrical and Electronic Engineering. Czech Republic, 2015. PP. 115-119.

<https://doaj.org/article/5bdb08887dc549b3b983fe2c231ac1b0>

20 Shorouk O. I. Implementation of fuzzy modeling system for faults detection and diagnosis in three phase induction motor drive system // Archives of Electrical Engineering. Egypt, 2015. PP. 27-46

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2314717215000161>

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

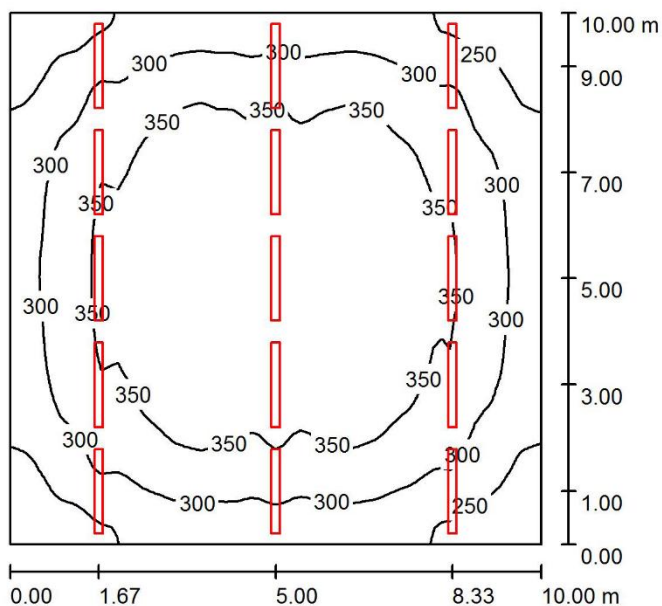
Проект 1

**DIALux**

20.05.2018

Оператор  
Телефон  
Факс  
Электронная почта

## Помещение 1 / Резюме



Высота помещения: 4.200 m, Монтажная высота: 4.200 m,  
Коэффициент эксплуатации: 0.50

Значения в Лух, Масштаб 1:129

Поверхность	$\rho$ [%]	$E_{cp}$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_{cp}$
Рабочая плоскость	/	324	199	403	0.615
Полы	20	292	190	365	0.650
Потолок	70	86	76	156	0.885
Стенки (4)	50	215	100	550	/

### Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 m  
Растр: 64 x 64 Точки  
Краевая зона: 0.000 m

### Ведомость светильников

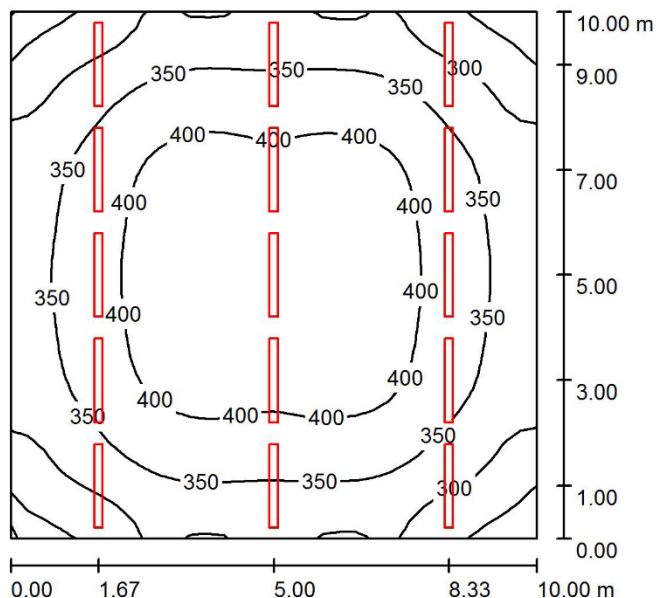
№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Ф (Светильник) [lm]	Ф (Лампы) [lm]	P [W]
1	15	LIGHTINGTECHNOLOGIES ARCTIC LED 1500 (1.000)	6055	6055	63.0

Всего: 90825    Всего: 90825    945.0

Удельная подсоединенная мощность:  $9.45 \text{ W/m}^2 = 2.92 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Поверхность основания:  $100.00 \text{ m}^2$ )

Оператор  
Телефон  
Факс  
Электронная почта

**Помещение 1 / Резюме**



Высота помещения: 4.200 m, Монтажная высота: 4.200 m,  
Коэффициент эксплуатации: 0.50

Значения в Лух, Масштаб 1:129

Поверхность	$\rho$ [%]	$E_{cp}$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_{cp}$
Рабочая плоскость	/	360	234	436	0.652
Полы	20	322	220	392	0.682
Потолок	70	176	110	422	0.622
Стенки (4)	50	279	160	621	/

**Рабочая плоскость:**

Высота: 0.850 m  
Растр: 32 x 32 Точки  
Краевая зона: 0.000 m

Число точек, имеющих менее 400 люкс (для IEQ-7): 71.78%.

**Ведомость светильников**

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	$\Phi$ (Светильник) [lm]	$\Phi$ (Лампы) [lm]	P [W]
1	15	LIGHTINGTECHNOLOGIES - ARCTIC 258 (1.000)	7280	10400	116.0
			Всего: 109200	Всего: 156000	1740.0

Удельная подсоединенная мощность:  $17.40 \text{ W/m}^2 = 4.84 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Поверхность основания:  $100.00 \text{ m}^2$ )