

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Политехнический институт  
Механико-технологический факультет  
Кафедра машиностроения, автоматике и электроэнергетики

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой,  
к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ К. М. Виноградов  
\_\_\_\_\_ 2018г.

Условия работы высоковольтных двигателей  
в СЭС электролитного завода

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ–13.03.02.2018.057.00.00ПЗ ВКР

Консультанты  
Безопасность жизнедеятельности,  
к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ В.Г. Некрутов  
\_\_\_\_\_ 2018 г.

Руководитель работы,  
преподаватель  
\_\_\_\_\_ В.И. Сафонов  
\_\_\_\_\_ 2018г.

Автор работы  
студент группы ИОДО-508  
\_\_\_\_\_ Д.Е. Игнашкин  
\_\_\_\_\_ 2018г.

Нормоконтролер, доцент  
\_\_\_\_\_ В.Д. Константинов  
\_\_\_\_\_ 2018г.

Челябинск  
2018



4 Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

Аннотация

Оглавление

Введение

1 Сравнение отечественных и передовых зарубежных технологий и решений.

На примере РПН трансформаторов. Выводы.

2 Расчет электрических нагрузок Расчет высоковольтных и низковольтных электрических нагрузок предприятия.. Выводы.

3. Выбор основного оборудования ГПП. Выбор трансформатора ГПП, схемы и параметров компенсирующего устройства. Выводы.

4. Выбор кабельных линий до двигателей. Расчет токов короткого замыкания на шинах 10 кВ. Расчет кабельных линий и проверка их на термическую стойкость Выводы.

5 Релейная защита асинхронного двигателя 1600 кВт. Защита двигателя от перегрузок и всех видов коротких замыканий, а также от минимального напряжения. Расчет и построение время-токовых характеристик. Выводы.

6 Качество электроэнергии в сети 10 кВ. Расчет несинусоидальности напряжения и провала напряжения при пуске наиболее мощного двигателя. Выводы.

7 Технико-экономическое сравнение вариантов. Для радиальной и магистральной схем электроснабжения двух цехов. Выводы.

8 Безопасность жизнедеятельности. Пожарная безопасность и электробезопасность на главной понизительной подстанции. Расчет заземления и молниезащиты. Выводы.

Заключение

Библиографический список

5 Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей, плакатов в листах формата А1)

<u>5.1 Схема электрическая принципиальная «Условия работы высоковольтных двигателей в СЭС электролитного завода</u>	<u>1,0 л</u>
<u>5.2 Плакат «Выбор оборудования ГПП»</u>	<u>1,0 л</u>
<u>5.3 Плакат «Выбор кабельных линий до двигателей»</u>	<u>1,0 л</u>
<u>5.4 Плакат «Расчет релейной защиты асинхронного двигателя 1.6МВт»</u>	<u>1,0 л</u>
<u>5.5 Схема электрическая предприятия «Релейная защита асинхронного двигателя»</u>	<u>1,0 л</u>
<u>5.6 Плакат «Технико-экономическое сравнение вариантов»</u>	<u>1,0 л</u>
<u>5.7 Схема общего вида «Подстанция 110/10 кВ»</u>	<u>1,0 л</u>
<u>5.8 Плакат «Безопасность жизнедеятельности на ГПП»</u>	<u>1,0 л</u>

Всего 8 листов

6 Консультанты по работе, с указанием относящихся к ним разделов работы

Раздел	Консультант	Подпись, дата	
		Задание выдал (консультант)	Задание принял (студент)
Безопасность жизнедеятельности	В.Г. Некрутов		

7 Дата выдачи задания 20.02.2018 г.

Руководитель, к.ф.-м.н., доцент \_\_\_\_\_ В.И. Сафонов  
(подпись)

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_ Д. Е. Игнашкин  
(подпись студента)

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов выпускной квалификационной работы	Срок выполнения этапов работы	Отметка о выполнении руководителя
Сравнение отечественных и передовых зарубежных технологий и решений	23.03.18	
Расчет электрических нагрузок	27.03.18	
Выбор оборудования ГПП	30.03.18	
Выбор кабельных линий до электродвигате- лей	30.03.18	
Релейная защита асинхронного двигателя 1600кВт	5.04.18	
Качество электроэнергии на шинах 10 кВ	10.04.18	
Технико-экономическое сравнение вариантов	10.04.18	
Безопасность жизнедеятельности на ГПП	06.05.18	
Оформление пояснительной записки	20.05.18	
Выполнение графической части	25.05.18	

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ /К.М. Виноградов/

Руководитель работы \_\_\_\_\_ /В.И. Сафонов/

Студент \_\_\_\_\_ /Д.Е. Игнашкин/

## АННОТАЦИЯ

Игнашкин Д.Е. Условия работы высоковольтных двигателей в СЭС электролитного завода – Челябинск: ЮУрГУ, МТ; 2018, 53 с., 18 ил., библиогр. список – 20 наим., 8 листов чертежей формата А1.

Методом упорядоченных диаграмм рассчитаны электрические нагрузки промышленного предприятия. На основании расчета нагрузок выбраны трансформаторы ГПП и мощность компенсирующего устройства. В схеме компенсирующего устройства предусмотрены резонансные фильтры высших гармоник и конденсаторные батареи. Параметры фильтров рассчитаны по наименьшей установленной мощности конденсатора. Качество напряжения на шинах 10 кВ после установки фильтрокомпенсирующего устройства удовлетворяет всем нормативным требованиям.

Построена система релейной защиты высоковольтного двигателя мощностью 1600 кВАр. Рейная защита согласуется с системой электроснабжения по токам в рабочем режиме, при пуске двигателя и току короткого замыкания.

Кабельные линии до высоковольтных электродвигателей выбраны по экономической плотности тока и проверены на длительно допустимый ток и термическую стойкость.

Выполнено технико-экономическое сравнение вариантов – магистральной и радиальной схем электроснабжения двух цехов. При сравнении вариантов учитывались капитальные затраты на основное оборудование и стоимость потерь электроэнергии. Методом минимизации приведенных затрат выбран вариант с преобразователями частоты.

Проведено сравнение различных типов РПН трансформатора ГПП.

В разделе «Безопасность жизнедеятельности» рассмотрены вопросы безопасности на главной понизительной подстанции. Сформулированы нормативные требования к безопасной эксплуатации оборудования и рассмотрен вопрос о заземлении и молниезащите ГПП.

					<i>13.03.02.2018.057.00.00 ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Игнашкин</i>			<i>Условия работы высоковольтных двигателей в СЭС электролитного завода</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Сафонов</i>				<i>Д</i>	<i>3</i>	<i>53</i>
<i>Н. Контр.</i>		<i>Константинов</i>				<i>ЮУрГУ Кафедра Машиностроение, автоматика и электроэнергетика</i>		
<i>Утв.</i>		<i>Виноградов</i>						

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ: УСТРОЙСТВА ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПОД НАГРУЗКОЙ	
1.1. Устройство регулирования напряжения под нагрузкой типа РС-9.....	7
1.2. Устройство регулирования напряжения под нагрузкой типа UZ .....	9
1.3. Устройство регулирования напряжения под нагрузкой типа VUCUTAP.	11
Выводы по разделу один .....	12
2. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК	
2.1. Методика расчета .....	13
2.2. Электрические нагрузки промышленного предприятия.....	14
Выводы по разделу два .....	16
3. ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ГПП	
3.1. Выбор трансформатора ГПП.....	17
3.2. Выбор схемы компенсирующего устройства.....	18
Выводы по разделу три .....	21
4. ВЫБОР КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ДО ДВИГАТЕЛЕЙ	
4.1. Расчет токов короткого замыкания.....	22
4.2. Расчет кабельных линий.....	24
Выводы по разделу четыре .....	26
5. РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ 1600 кВт	
5.1. Защита электродвигателя от перегрузок.....	27
5.2. Мгновенная токовая отсечка.....	28
5.3. Защита двигателя от однофазных замыканий на землю.....	30
5.4. Защита двигателя от минимального напряжения.....	32
Выводы по разделу пять .....	33
6. КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ШИНАХ 10 кВ	
6.1. Несинусоидальность напряжения.....	34
6.2. Провал напряжения при пуске двигателя.....	36
Выводы по разделу шесть .....	37
7. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ	
7.1. Выбор вариантов для сравнения.....	38
7.2. Сравнение вариантов.....	39
Выводы по разделу семь .....	41
8 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ГПП	
8.1. Компановка главной понизительной подстанции .....	42
8.2. Средства защиты и организационные мероприятия.....	43
8.3. Расчет заземляющего устройства ОРУ.....	45
8.4. Расчет молниезащиты подстанции.....	47
8.5. Пожарная безопасность.....	48
Выводы по разделу восемь .....	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	51
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	52

## ВВЕДЕНИЕ

Электрификация народного хозяйства является одним из важнейших путей эффективного развития его производительных сил и улучшение условий труда и быта. Она в наибольшей мере способствует совершенствованию технологий, росту объема продукции и повышению производительности труда.

Преимущество использования электроэнергии в ряде промышленных технологий, а также обеспечение при ее применении автоматизации многих процессов и их механизации предопределяет дальнейший рост электрификации и, следовательно, увеличение потребления электроэнергии.

Все возрастающее потребление электрической энергии и все возрастающие затраты на добычу и транспорт топлива, необходимого для ее разработки, остро поставили вопрос об экономии топлива и энергии, о внедрении электросберегающих технологий. Стратегическая направленность экономической политики в отношении экономии энергии сочетается с политикой углубления электрификации всех отраслей народного хозяйства.

Системы электроснабжения промышленных предприятий создаются для обеспечения питания электроэнергией промышленных приемников. Задача электроснабжения промышленных предприятий возникла одновременно с широким внедрением электропривода в качестве движущей силы различных машин и механизмов и строительством электростанций. По мере развития электроснабжения усложняются и системы электроснабжения промышленных предприятий. В них включаются сети высоких напряжений, распределительные сети, а в ряде случаев и сети промышленных ТЭЦ. Возникает необходимость внедрять автоматизацию системы электроснабжения промышленных предприятий и производственных процессов, осуществлять в широких масштабах диспетчеризацию процессов производства с применением телесигнализации и телеуправления и вести активную работу по экономии электроэнергии.

Рационально выполненная современная система электроснабжения должна удовлетворять ряду требований: экономичности и надежности, безопасности и удобству эксплуатации, обеспечения надлежащего качества электроэнергии, уровней напряжения, стабильности частоты. Должны также предусматриваться кратчайшие сроки выполнения строительно-монтажных работ и необходимая гибкость системы, обеспечивающая возможность расширения при развитии предприятия без существенного усложнения и удорожания первоначального варианта.

В выпускной квалификационной работе были выполнены расчеты условий работы высоковольтных двигателей в СЭС электролитного завода. Исходные данные для выполнения работы:

Характеристика точки подключения: 110 кВ, мощность КЗ 1000 МВА.

Данные о нагрузке промышленного предприятия (табл.1).

										Лист
										5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.057.00.00 ПЗ					



Таблица 1 - Электрические нагрузки промышленного предприятия

	$n_{эф}$	$P_p, \text{кВт}$	$K_{на}$	$\cos\varphi$
1. Цех № 1 электролиза	45	1200	0.75	0.8
Выпрямители 12-и фазные	4 шт	по 650	0.75	0.85
2. Цех № 2 электролиза	55	1570	0.75	0.8
Выпрямители 12-и фазные	4 шт	по 7500	0.8	0.8
Выпрямители 12-и фазные	8 шт	по 650	0.8	0.85
3. Отделение водоподготовки	25	860	0.8	0.85
4. Цех электролиза меди	50	1350	0.75	0.8
Выпрямители 12-и фазные	2 шт	2850	0.75	0.8
5. Медеплавильный цех	45	1350	0.7	0.8
Синхронные двигатели	2 шт	по 630	0.75	0.9
6. Градирня	5	250	0.85	0.62
7. Холодильно-компрессорная	20	150	0.65	0.7
Асинхронные двигатели	2 шт	по 1600	0.6	0.9
Асинхронные двигатели	4 шт	по 200	0.8	0.85
8. Котельная	45	480	0.7	0.8
9. Ремонтно-строительный цех	65	650	0.35	0.65
10. Ремонтно-механический цех	97	2290	0.48	0.8



контактов от 0.4 до 0.6 м/с. Осциллографирование контактной системы и снятие временных диаграмм РПН ООО «Лидер Энерго» возможно лишь в заводских условиях. Техническая характеристика РПН типа РС-9 [1] приведена в таблице 1.1.

Переключающее устройство (рис. 1.1) занимает сравнительно небольшое место в баке трансформатора, так как основные его узлы—трехфазный избиратель 7, предызбиратель 8 и контактор 4 — соединены в единую стройную систему. Переключатель имеет восемь ступеней регулирования, но с помощью дополнительного устройства — предызбирателя или реверсора — диапазон регулирования увеличивается вдвое при том же самом количестве витков регулировочной обмотки.

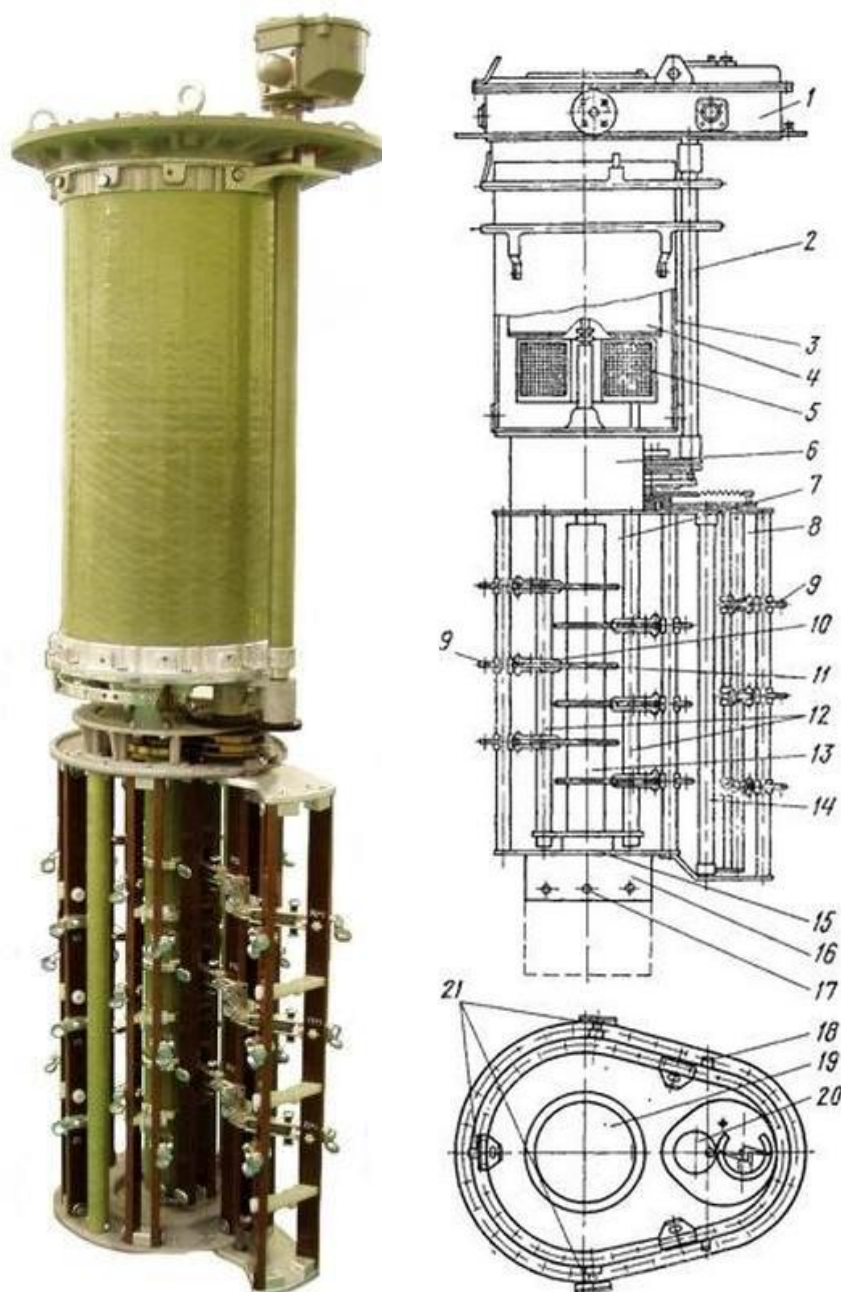


Рисунок 1.2 – РПН типа РС-9 и общий вид переключающего устройства ответвленной обмотки под нагрузкой

Предызбиратель включает или выключает регулировочные витки ступеней обмотки, предназначенных для грубого регулирования. Число витков ступени грубого регулирования равно числу витков основной регулировочной обмотки или

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.02.2018.057.00.00 ПЗ

Лист

8



ные контакты встроены на кронштейн, который прикручивается к клеммам, предварительно расположенным на эпоксидной форме. Каждый неподвижный контакт имеет с обеих сторон две контактные дорожки, одну для главного подвижного контакта и другую для подвижных переключающих контактов. Система подвижных контактов состоит из главного контакта, главного переключающего контакта и двух дугогасительных контактов. Система представляет собой жесткий узел и вращается общим изолированным приводным валом. В процессе работы ток нагрузки передается подвижным главным контактом, который состоит из двух пальчиков, прижатых к неподвижному контакту пружиной. Подвижный переключающий контакт и дугогасительные контакты представляют собой ролики, которые двигаются сверху ножевидных неподвижных контактов. Техническая характеристика РПН типа UZ 2] приведена в таблице 1.2.

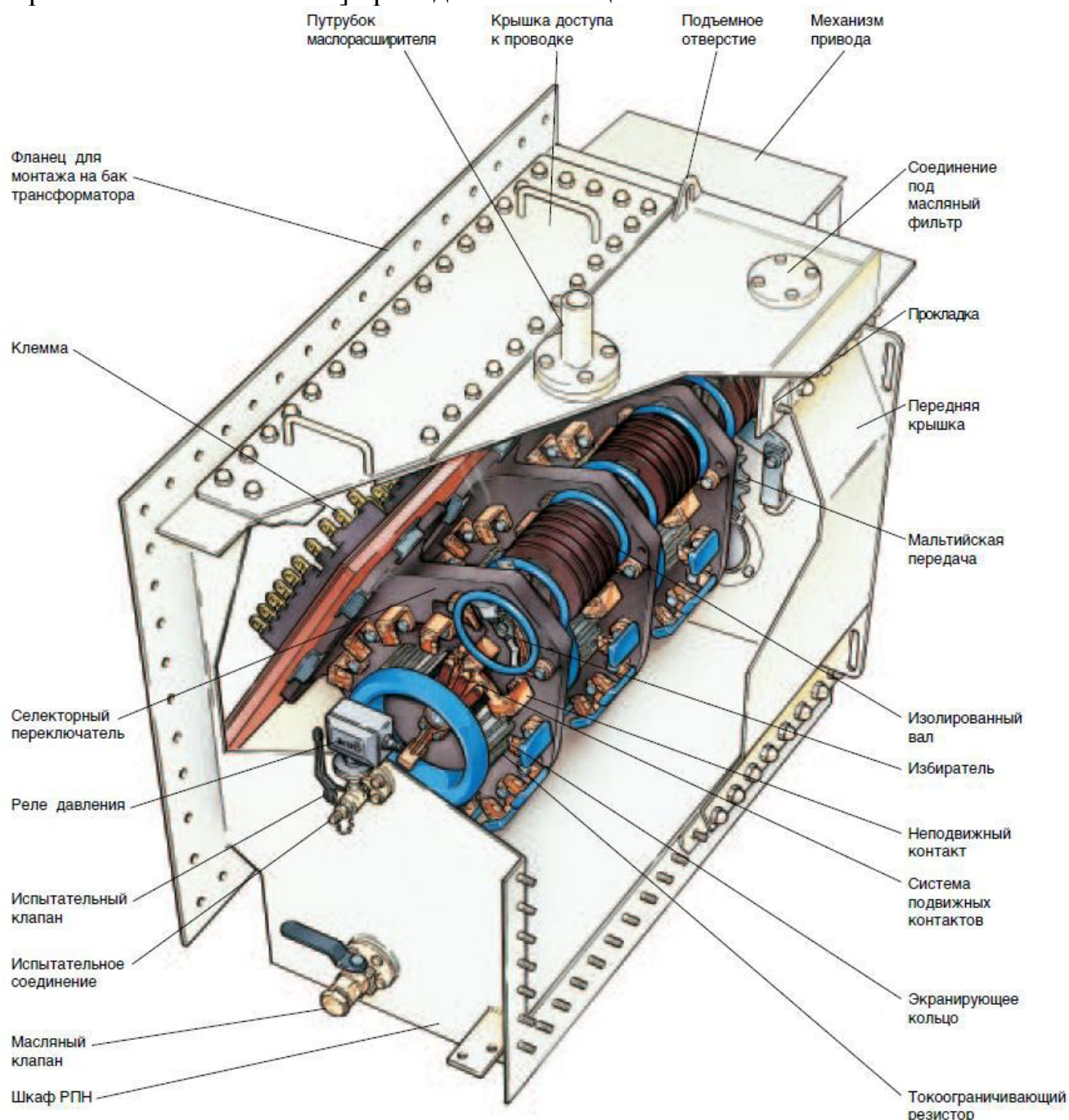


Рисунок 1.2 - РПН типа UZ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.02.2018.057.00.00 ПЗ

Лист

10

Таблица 1.2- Технические характеристики РПН типа UZ

наименование	Ед. изм.	Величина
Макс. номинальный ток нагрузки	В	800;1200;1600
Номинальное ступенчатое напряжение	кВ	200;250;380;550;650
Макс.номинальный сквозной ток	А	150;300;600
Число положений: -линейное регулирование -регулирование +/- -регулирование грубый /тонкий		Макс.17 положений Макс. 33 положения Макс. 29 положений

### 1.3 Устройство регулирования напряжения под нагрузкой типа VUCUTAP

Новое устройство VACUTAP VR I HD [3] - продукт неуклонного совершенствования вакуумного РПН VACUTAP VR, появившегося в 2004 году и с тех пор прекрасно зарекомендовавшего себя в эксплуатации. Новое устройство РПН, созданное для работы в трансформаторах с повышенной частотой регулировки, производит за межревизионный интервал больше переключений. Результат: гарантированно высокий коэффициент использования трансформаторов. Новый РПН также привлекает и своей взаимозаменяемостью почти со всеми уже находящимися в эксплуатации устройствами VACUTAP VR



Рисунок 1.4 - РПН типа VACUTAP VR



## 2 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

### 2.1 Методика расчета

Расчет электрических нагрузок выполнен методом упорядоченных диаграмм [4]. В системе электроснабжения промышленного предприятия существует несколько характерных точек, в которых необходимо определять расчетные электрические нагрузки. Расчет нагрузок проводим последовательно, от низших уровней к высшим в системе электроснабжения.

Для промышленного предприятия задана нагрузка цехов и высоковольтная нагрузка. В рассматриваемой классификации это четвертый, пятый и шестой уровни.

Четвертый уровень - электроприемники, подключенные к распределительному пункту (РП) напряжением 6-10 кВ. Определение данной нагрузки необходимо:

- для выбора сечения и материала шин РП и сечения линий, питающих каждую из секций сборных шин РП;

- выключателей со стороны шин главной понизительной подстанции (ГПП).

Пятый уровень - секции сборных шин напряжением 6,10 кВ ГПП. Определение данной нагрузки необходимо для выбора числа и мощности трансформаторов, устанавливаемых на ГПП, выбора сечения и материала шин и вводных и секционных выключателей, устанавливаемых на стороне низшего напряжения ГПП.

Шестой уровень - сторона высшего напряжения 35-110-220 кВ ГПП. Определение данной нагрузки необходимо для выбора сечения линий, питающих трансформаторы ГПП, и аппаратов присоединения трансформаторов и питающих их линий к источникам питания.

Электроприемники 4-го уровня в рассматриваемой системе электроснабжения отсутствуют.

Расчет активных и реактивных мощностей на пятом уровне выполняется по формулам

$$P_p^V = K_{\text{ом}} \left[ \sum_1^{m1} P_{pi}^{\text{III}} + \sum_1^{N1} k_{\text{наи}} p_{\text{номи}} + \sum_1^M P_{pi}^{\text{IV}} + \sum_1^{L1} \Delta P_{\text{ти}} \right]; \quad (2.1)$$

$$Q_p^V = K_{\text{ом}} \left[ \sum_1^{m1} Q_{pi}^{\text{III}} + \sum_1^{N1} k_{\text{наи}} p_{\text{номи}} \text{tg} \varphi_i + \sum_1^M Q_{pi}^{\text{IV}} + \sum_1^L \Delta Q_{\text{ти}} \right], \quad (2.2)$$

где  $m1$  – число узлов (ТП) СЭС третьего уровня, питающихся непосредственно от сборных шин 10 кВ ГПП;

$N1$  – число высоковольтных электроприёмников, питающихся непосредственно от сборных шин 10 кВ ГПП;

$M$  – число узлов СЭС четвертого уровня (РП), которые питаются от сборных шин 10 кВ ГПП;

$L1$  – число трансформаторов цеховых ТП, питающихся непосредственно от сборных шин 10 кВ ГПП;

$K_{\text{ом}}$  – коэффициент одновременности максимумов [5].

В расчете нагрузки шестого уровня нет необходимости, т.к. выбор элементов СЭС внешнего электроснабжения не осуществляется.

									Лист
									13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

13.03.02.2018.057.00.00 ПЗ







Таблица 2.3 - Расчет высоковольтных нагрузок

	$P_p$ , кВт	$n_{эф}$	$P_p$ , кВт	$K_{на}$	$\cos\varphi$	$P_{с,к}$ Вт	$Q_c$ кВАр	$K_{ра}$	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар
1 Цех электролиза медной фольги №1										
Выпрямители 12- и фазные	650	4	2600	0.75	0.85	1950	1208	1	1950	1208
2. Цех электролиза медной фольги №2										
Выпрямители 12- и фазные	7500	4	30000	0.8	0.8	24000	18000	1	24000	18000
Выпрямители 12- и фазные	650	8	5200	0.8	0.85	4160	2578	1	4160	2578
4 Цех электролиза меди										
Выпрямители 12- и фазные	2850	2	5750	0.75	0.8	4312	3234	1	4312	3234
5. Медеплавильный цех										
Синхронный дви- гатель	315	2	630	0.75	0.9	472	-228	1	472	-228
7. Холодильно-компрессорная установка										
Асинхронный двигатель	1600	2	3200	0.6	0.9	1290	929	1	1290	929
Асинхронный двигатель	200	4	800	0.8	0.85	640	396	1	640	396
Итого по нагрузке 10 кВ									36800	26200

В результате высоковольтная нагрузка предприятия составляет 36800 кВт и 26200 кВАр. Высокая доля реактивной мощности связана с возможностью регулирования тиристорных преобразователей.

Суммарная активная нагрузка предприятия 42900 кВт 30900 кВАр.

При передаче реактивной мощности через элементы СЭС возникают:

- дополнительные потери активной мощности;
- дополнительная загрузка элементов СЭС;
- ухудшение качества электрической энергии.

В связи с этим установлены предельные значения коэффициента мощности для сетей 110 кВ равное 0.5 [5]. На шинах 10 кВ коэффициент мощности

$$tg\varphi = \frac{Q}{P} = 0.72,$$

что больше предельно допустимого значения. Следовательно, на шинах 10 кВ необходима установка конденсаторных батарей мощностью не менее  $30.9 - 21.45 = 9.45$  МВАр.

Выводы по разделу два:

Методом упорядоченных диаграмм выполнен расчет электрической нагрузки промышленного предприятия.

											Лист
											16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.057.00.00 ПЗ						



схемы компенсирующего устройства необходимо руководствоваться величиной 18 МВАр.

По известным паспортным данным можно рассчитать потери активной мощности в выбранном трансформаторе

$$\Delta P = \Delta P_{xx} + \Delta P_{K3} \left( \frac{S}{S_H} \right)^2 = 101 \text{ кВт.}$$

Коэффициенты загрузки трансформаторов в нормальном и послеаварийном режиме будут соответственно равны:

$$k_{з.н} = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_1^2}}{2S_{н.т.}} = 0.7, \quad k_{з.п} = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_1^2}}{S_{н.т.}} = 1.4.$$

При коэффициенте загрузки в нормальном режиме 0.7 трансформатор работает с КПД, близком к оптимальному значению [5].

### 3.2 Выбор схемы компенсирующего устройства

При наличии мощных источников высших гармоник (выпрямителей) на шинах 10 кВ предпочтительнее установить резонансные фильтры вместо конденсаторных батарей. Резонансный фильтр к-ой гармоники представляет собой последовательно соединенные конденсатор и катушку индуктивности (рис. 3.1). Резонансные фильтры в системе электроснабжения выполняют две основные функции [9]:

- обеспечивают фильтрацию к-ой гармоники;
- участвуют в компенсации реактивной мощности.

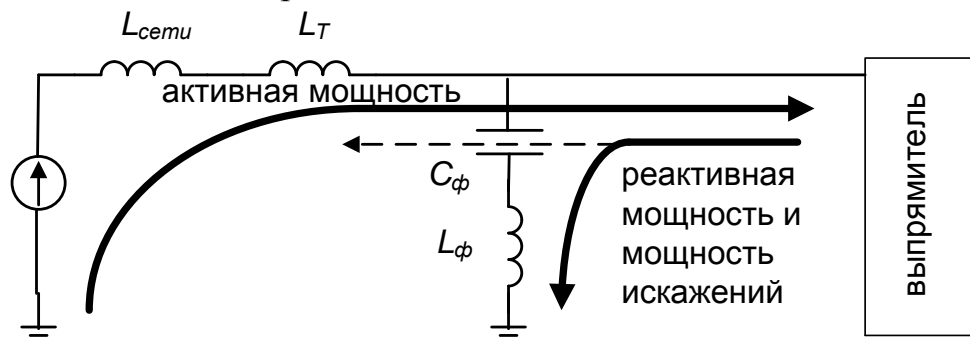


Рисунок 3.1 - Схема включения резонансного фильтра

Чтобы минимизировать капитальные затраты на фильтры, необходимо рационально распределить эти функции фильтра.

Параметры резонансного фильтра к-ой гармоник удовлетворяют уравнению

$$k\omega L = \frac{1}{k\omega C}. \quad (3.1)$$

Кроме фильтрации тока к-ой гармоники фильтр также может частично компенсировать реактивную мощность на 1-ой гармонике. Ток первой гармоники



исходя из условия минимальной установленной мощности конденсаторной батареи.

На основании проведенных расчетов можно сформулировать последовательность выбора мощности конденсаторной батареи и параметров резонансных фильтров [9]. Исходными величина являются фазное напряжение  $U_{(1)}$  и ток первой гармоники  $I_{B(1)}$  выпрямителя, а также реактивная мощность, подлежащая компенсации  $Q_C$ .

Сначала необходимо определить минимальную реактивную мощность, которую компенсируют резонансные фильтры

$$Q_{\min} = U_{(1)} I_{B(1)} \sum_k \frac{1}{k\sqrt{k}}, \quad (3.7)$$

причем суммирование производится для всех гармоник, которые необходимо отфильтровать.

Если  $Q_C < Q_{\min}$ , то конденсаторы в фильтрах выбираются по минимальной установленной мощности. В этом случае необходимо провести оценку несинусоидальности напряжения в точке подключения и по ее результатам возможно уменьшить количество гармоник, подлежащих фильтрации.

Если  $Q_{\min} < Q_C < 2Q_{\min}$ , то всю реактивную мощность можно генерировать за счет резонансных фильтров. Конкретное распределение генерации реактивной мощности за счет фильтров получают, проводя технико-экономическое сравнение вариантов.

Если  $2Q_{\min} < Q_C$ , то параметры фильтров получают из условия генерации минимальной реактивной мощности, а остальную часть реактивной мощности получают при помощи конденсаторной батареи.

Для 12-и фазных выпрямителей характерны 11-я, 13-я, 23-я, 25-я, 35-я и 37-я гармоники тока. Расчетная мощность фильтров (таблица 2.3): активная 34.4 МВАр, реактивная 25 МВАр, полная 42.5 МВА. Поэтому минимальная мощность, которую необходимо компенсировать резонансными фильтрами составляет согласно (3.7) 3.2 МВАр. Согласно [10] расчет проводится до 40 гармоники. Остальные  $18-3.2=14.8$  МВАр можно компенсировать при помощи конденсаторных батарей. Таким образом, схема компенсирующего устройства имеет вид, показанный на рис. 3.2.

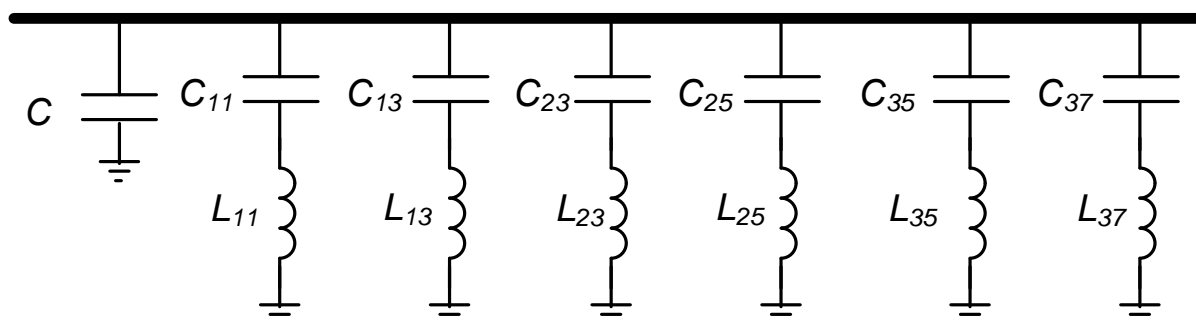


Рисунок 3.2 - Схема компенсирующего устройства





## 4 ВЫБОР КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ДО ДВИГАТЕЛЕЙ

### 4.1 Расчет токов короткого замыкания

Расчет токов короткого замыкания производится для выбора высоковольтных и низковольтных аппаратов, шин, кабелей и другого электрооборудования СЭС предприятия. При этом достаточно рассмотреть ток трехфазного КЗ в характерных точках СЭС предприятия и определить периодическую составляющую этого тока для наиболее тяжелого режима работы сети [11]. Таким характерным режимом является состояние СЭС, когда один из трансформаторов ГПП отключен и включены секционные выключатели в РУ 10 кВ ГПП, т.е. все электроприемники питаются от одного трансформатора.

Схема для расчетов токов КЗ представлена на рисунке 4.1. Для нормального функционирования релейной защиты на предприятии, время срабатывания ступеней релейной защиты должно различаться. Карта селективности релейной защиты также показана на рисунке 4.1 [4].

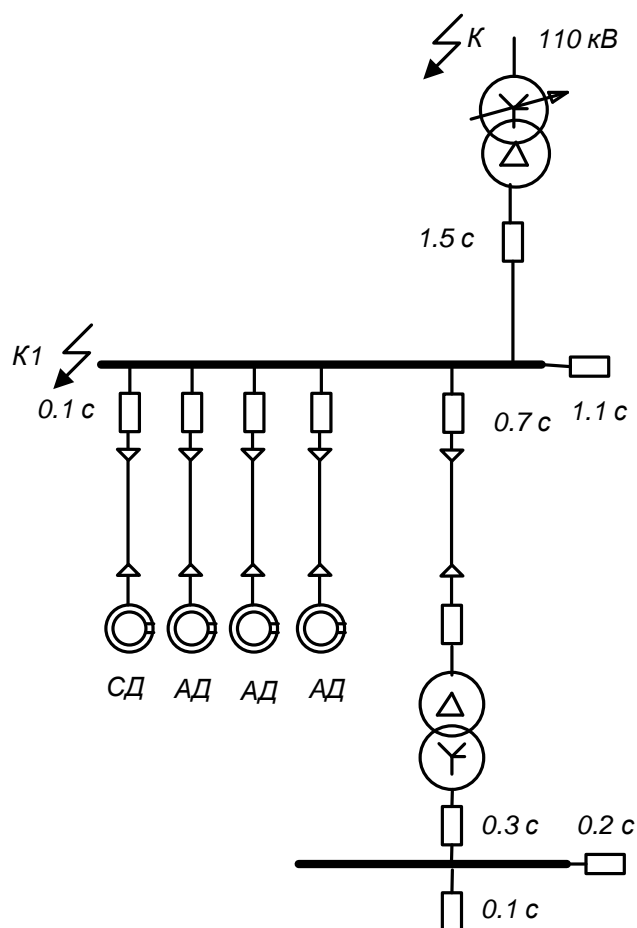


Рисунок 4.1 – Схема для расчетов токов короткого замыкания

Расчет токов КЗ производим в следующих точках:

- К – в схеме внешнего электроснабжения;
- К<sub>1</sub> – на секции шин 10 кВ, к которой подключены двигатели.

Двигатели могут работать в генераторном режиме, поэтому при расчете короткого замыкания в системе в некоторых случаях учитывают дополнительные токи, генерируемые двигателями [11, 12].

Расчет токов короткого замыкания в точке К1 (схема замещения на рис. 4.2) выполним в соответствии с рекомендациями, изложенными в [11, 12]. Все элементы СЭС заменяем их индуктивными сопротивлениями. Двигатели заменим источниками ЭДС и их переходными сопротивлениями. Находим параметры схемы замещения в относительных единицах при  $S_{\sigma}=1000$  МВА, принимая за базисное напряжение той ступени, на которой произошло короткое замыкание.

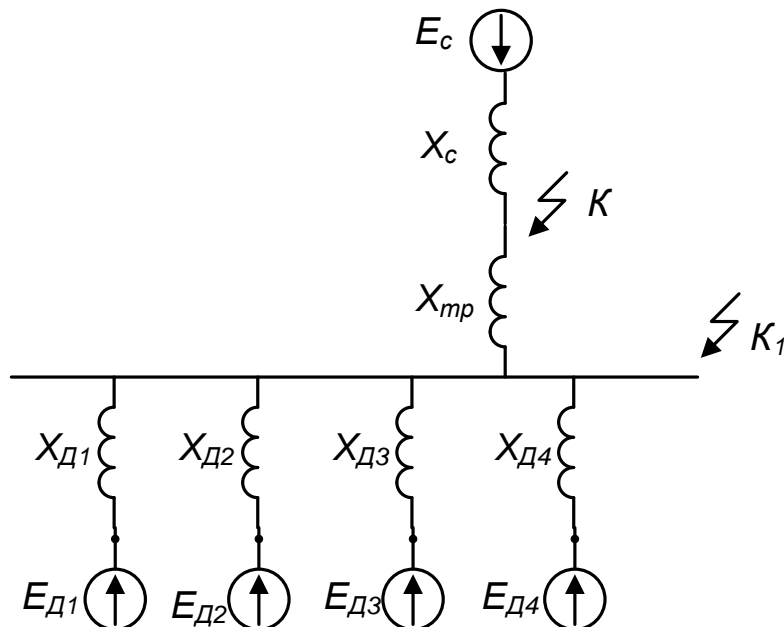


Рисунок 4.2 – Схема замещения для токов КЗ в точке К1

Сопротивление системы:

$$x_c = x_1 = \frac{S_{\sigma}}{S_k} = 1,$$

где  $S_c = 1000$  МВА – мощность короткого замыкания на шинах системы.

Максимальное сопротивление трансформатора ГПП с учетом изменения положения РПН:

$$x_{тмакс} = \frac{U_k}{100} \frac{S_{\sigma}}{S_n} (1 + 0.16)^2 = 4.4$$

минимальное сопротивление трансформатора

$$x_{тмин} = \frac{U_k}{100} \frac{S_{\sigma}}{S_n} (1 - 0.16)^2 = 2.3$$

где  $U_k = 10.5$  % – напряжение короткого замыкания трансформатора,

$S_n = 32$  МВА – номинальная мощность трансформатора.

Сопротивление высоковольтных двигателей:

$$x_{\sigma} = \frac{1}{n} \frac{S_{\sigma} \eta \cos \varphi}{P_{\sigma} K} \quad (4.1)$$

где  $K=5$  – кратность пускового тока;

$\eta=0.95$  – КПД;

$\cos \varphi=0.85$  -- коэффициент мощности двигателя;

$P_d$  – номинальная активная мощность двигателя, кВт;

$n$  – число двигателей одинаковой мощности.

Результаты расчета по (4.1):

- для двигателя мощностью 0.63 МВт сопротивление  $x_{д1}=256$ ;
- для 2-х двигателей мощностью 0.2 МВт сопротивление  $x_{д3}=403$ ;
- для двигателя мощностью 1.6 МВт сопротивление  $x_{д3}=101$ .

Базисный ток:

$$I_{\bar{o}} = \frac{S_{\bar{o}}}{\sqrt{3}U_{\bar{o}}} = 53 \text{ кА.}$$

Начальные значения сверхпереходного тока каждой ветви вычисляем по закону Ома. ЭДС двигателей в относительных единицах 1 Результаты расчетов добавленных двигателями токов:

$$I_1 = \frac{E_{сд1}}{x_{\partial 1}} I_{\bar{o}} = 0.207 \text{ кА, } I_2 = \frac{E_{сд2}}{x_{\partial 2}} I_{\bar{o}} = 0.132 \text{ кА, } I_3 = \frac{E_{сд3}}{x_{\partial 3}} I_{\bar{o}} = 0.525 \text{ кА.}$$

Ток системы изменяется от

$$I_{смин} = \frac{E_c}{x_c + x_{тмакс}} I_{\bar{o}} = 17.3 \text{ кА,}$$

до

$$I_{смакс} = \frac{E_c}{x_c + x_{тмин}} I_{\bar{o}} = 10.6 \text{ кА.}$$

Суммируя токи от всех источников, получаем значение тока трехфазного КЗ в точке К1, изменяющееся  $I_{мин} = 11.5$  кА. до  $I_{макс} = 18.4$  кА. Максимальное значение тока в дальнейшем используется для проверки кабелей на термическую прочность и выключателей релейной защиты. Минимальное значение тока двухфазного КЗ, которое равно  $0.85I_{мин} = 9.8$  кА используется для проверки необходимой чувствительности релейной защиты.

#### 4.2 Расчет кабельных линий

Сечение кабелей напряжением 10 кВ определяется по экономической плотности тока и проверяется по допустимому току кабеля в нормальном режиме работы с учетом условий его прокладки, по току перегрузки, потери напряжения в послеаварийном режиме и термической стойкости к токам короткого замыкания [4].

Расчетный ток в кабельной линии в нормальном режиме:

$$I_{р.к.} = \frac{S_{р.к.}}{\sqrt{3}U_n}, \quad (4.2)$$

где  $S_{р.к.}$  – мощность, которая должна передаваться по кабельной линии в нормальном режиме, кВА. При питании однотрансформаторной цеховой подстанции  $S_{р.к.}$

									Лист
									24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.057.00.00 ПЗ				

– это расчетная нагрузка трансформатора подстанции с учетом потерь, при питании двухтрансформаторной подстанции – расчетная нагрузка, приходящаяся на один трансформатор, с учетом потерь.

Сечение кабельной линии определяем по экономической плотности тока

$$F_3 = \frac{I_{p.k.}}{j_3}, \quad (4.3)$$

где  $j_3 = 1.4 \frac{A}{mm^2}$  – экономическая плотность тока, [7].

По известному сечению выбираем кабель с длительно допустимым током  $I_{доп}$  [8]. Допустимый ток кабеля пересчитываем с учетом условий прокладки

$$I'_{доп} = I_{доп} K_t K_{\pi}, \quad (4.4)$$

где  $K_{\pi} = 0.87$  – поправочный коэффициент на число параллельно прокладываемых кабелей [8];

$K_t = 1.02$  – поправочный коэффициент на температуру среды, в которой прокладывается кабель [8].

В послеаварийном режиме, когда выходит из строя одна из двух кабельных линий, нагрузка на линию удваивается  $I_{ав} = 2I_{p.k.}$ . Допустимая перегрузка кабеля в послеаварийном режиме:

$$I'_{ав} = K_{ав} I'_{доп}, \quad (4.5)$$

где  $K_{ав}$  – коэффициент перегрузки. Он определяется из [8] и зависит от коэффициента загрузки кабеля  $K_3 = I_{p.k.} / I'_{доп}$ .

В послеаварийном режиме работы для выбранного кабеля должно выполняться условие по току перегрузки:

$$I'_{ав} \geq \frac{I_{ав.}}{n_k}.$$

Отклонение напряжения в нормальном режиме в кабельной линии не должно превышать 5% [10], т.е.:

$$\Delta U = \frac{P_p r_0 l + Q_p x_0 l}{n_k U_H^2} 100\% \leq U_{доп} = 5\%, \quad (4.6)$$

где  $r_0$  и  $x_0$  – удельные активное и реактивное сопротивление кабеля, Ом/км;  
 $l$  – длина кабельной линии, км.

Далее выполним проверку выбранных кабелей по термической стойкости к токам короткого замыкания.

Термически стойкое сечение определим по выражению

$$F_{т.с.} = \frac{\sqrt{B_k}}{C}, \quad (4.7)$$

где  $C$  – коэффициент, зависящий от вида металла жил кабеля,  $C = 90 A \cdot c^{0.5} / mm^2$  [8] (для медных жил);  $B_k$  – тепловой импульс тока короткого замыкания,  $kA \cdot c^2$ .

Тепловой импульс тока короткого замыкания определяется по формуле:

					13.03.02.2018.057.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25







## 5.2 Мгновенная токовая отсечка

Схема защиты должна быть наиболее простой, надёжной и экономичной. Защита выполняется реагирующей на значение тока, протекающего к месту повреждения со стороны питающей сети, и действует без выдержки времени на отключение двигателя от сети. Защита осуществляется с помощью блока ANSI 51.

Мгновенная токовая отсечка является основной защитой от КЗ в обмотке статора для двигателей мощностью до 5000 кВт [12].

Для электродвигателей, имеющих действующую на отключение защиту от однофазных замыканий на землю предусматривается токовая отсечка без выдержки времени (мгновенная токовая отсечка), отстроенная от пусковых токов.

Уставка по току мгновенной токовой отсечки отстраивается от пускового тока электродвигателя:

$$I_{с.мгн} = K_{отс} K_{пуск} I_{ном} = 1.2 \cdot 5.2 \cdot 104 = 648 \text{ А},$$

где  $K_{отс}$  – коэффициент отстройки,  $K_{пуск}$  – коэффициент пуска.

Чувствительность отсечки при двухфазных КЗ на выводах электродвигателя при минимальном режиме работы электрической сети должна быть более 2 [14]:

$$K_{ч} = \frac{I_{к.мин}}{I_{с.мгн}} > 2.$$

Так как кабельная линия, соединяющая двигатель со сборными шинами РП, имеет большое сечение и маленькую длину, а значит и маленькое сопротивление, то  $I_{к.мин} = 9800 \text{ А}$ . В результате получаем коэффициент чувствительности 15.

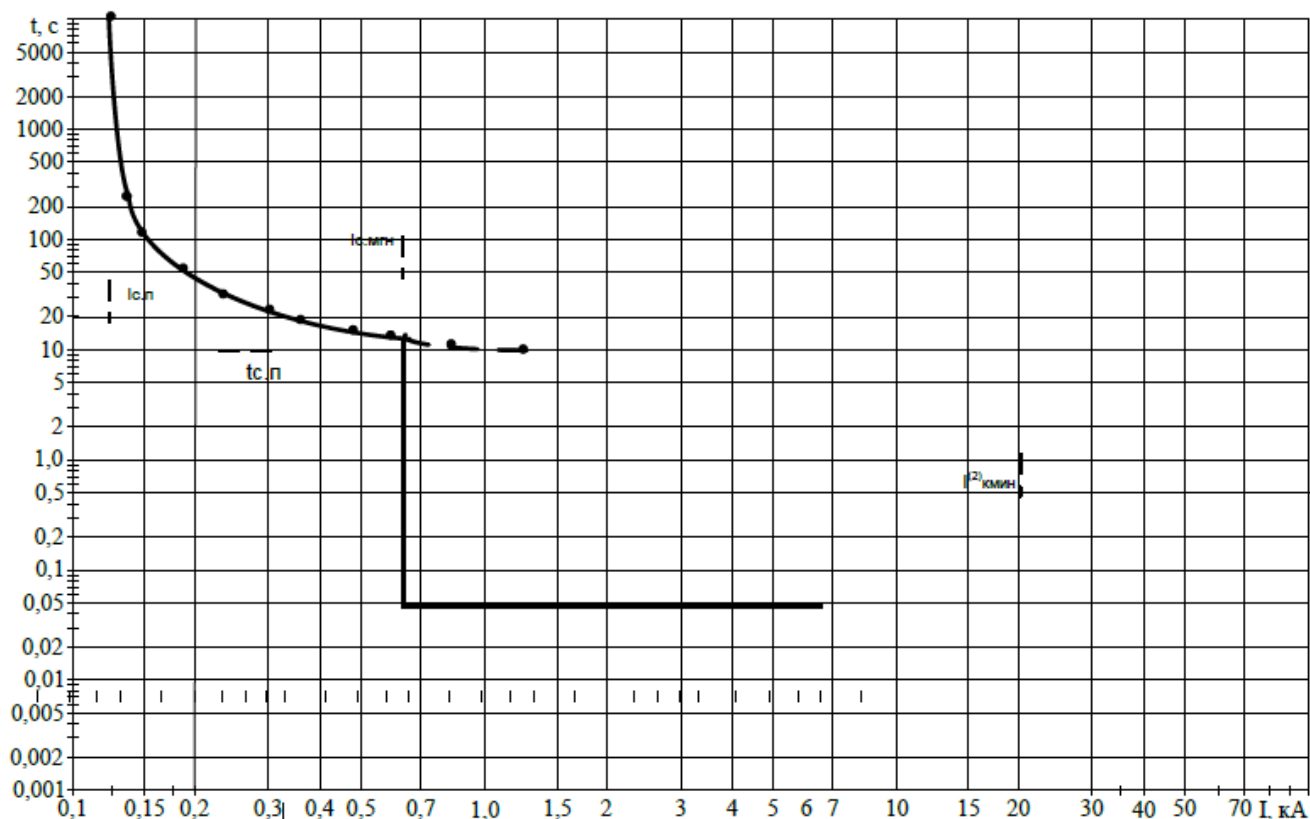


Рисунок 5.2 - Время-токовая диаграмма







## 5.4 Защита двигателя от минимального напряжения

Минимальное напряжение нулевой последовательности (ANSI 27R). Контроль исчезновения напряжения, поддерживаемого вращающимися машинами, после размыкания цепи. Данная защитная функция используется для предотвращения электрических и механических переходных процессов в результате быстрого восстановления питания электрических двигателей. Для защиты двигателя используем одноступенчатую защиту минимального напряжения.

Функция контролирует линейное напряжение  $U_L$  или фазное напряжение  $U_\Phi$ . Уставка по напряжению настраивается на снижение напряжения до  $U_{\min 1} = 0.7 U_n$ .

$$U_{C3} = \frac{U_{\min}}{K_{отс} K_B} = \frac{0.7 \cdot 10000}{1.1 \cdot 0.935} = 6806 \text{ В,}$$

где  $K_{отс} = 1,1$  – коэффициент отстройки,  $K_B = 0,935$  – коэффициент возврата реле.

Выдержка времени принимается на ступень селективности больше времени действия быстродействующих защит от многофазных замыканий  $t_{C3} = 0,55 \text{ с}$ .

Принципиальная схема [13, 14] защиты на рисунке 5.4.

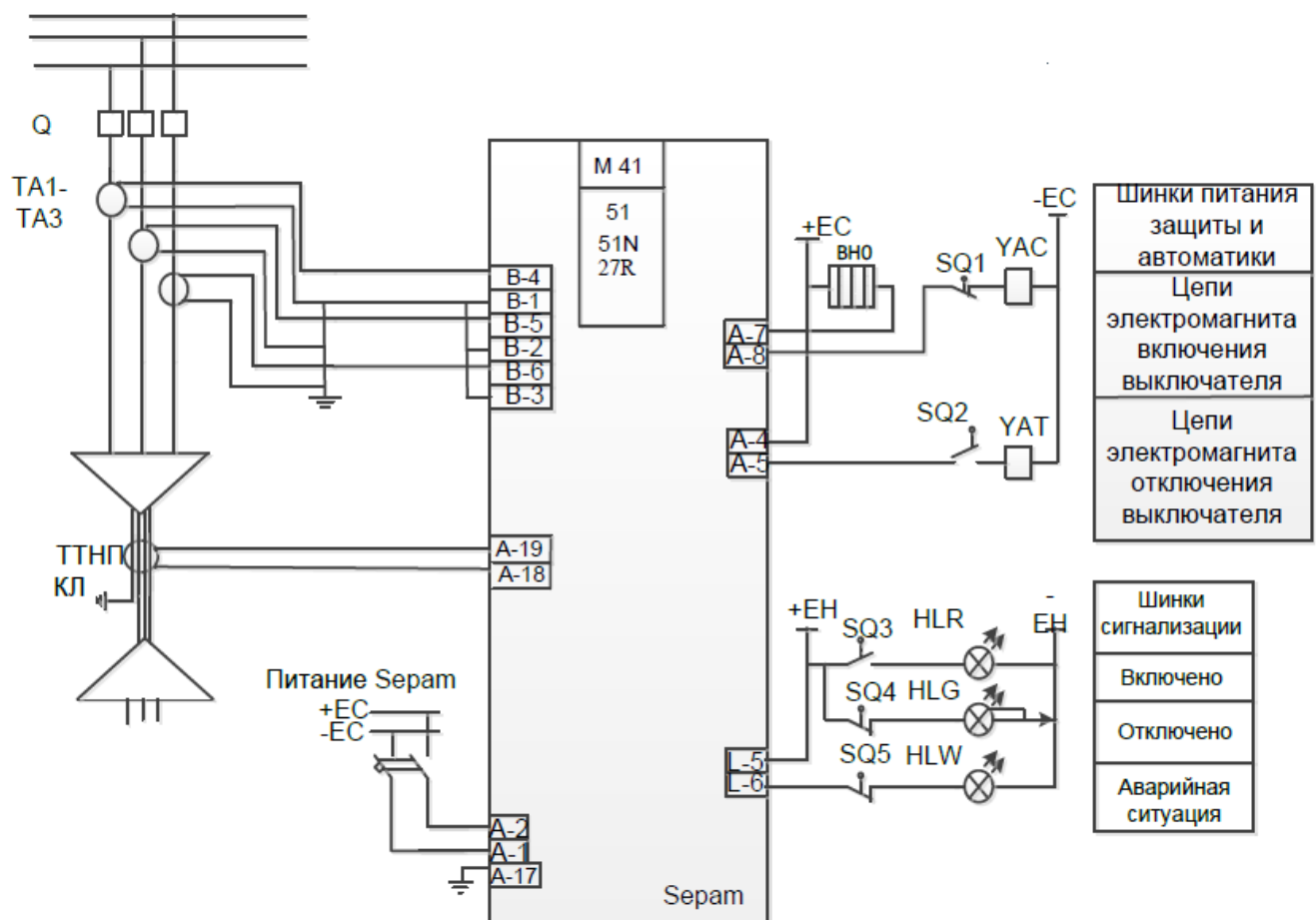


Рисунок 5.4 – Принципиальная схема релейной защиты АД

Спецификация представлена в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Спецификация

Поз. обозн.	Наименование	Кол-во
ТА1	ТОЛ-СЭЩ-10-11-100/5-0,5/10Р УЗ	3
ТА0	ТЗЛК-СЭЩ-0,66 УЗ	1
HLR	Лампа сигнальная красная	1
HLG	Лампа сигнальная зеленая	1
HLW	Лампа сигнальная белая	1
Q9	Выключатель трехфазный	1
SQ1	Контакт размыкающий	1
SQ2	Контакт размыкающий	1
SQ3	Контакт размыкающий	1
SQ4	Контакт размыкающий	1
SQ5	Контакт размыкающий	1
YAC	Электромагнит включения	1
YAT	Электромагнит включения	1
SAC	Переключатель	1
C	Защита Sepam M41	1

Выводы по разделу пять

В данном разделе была рассчитана защита асинхронного двигателя с помощью блока Sepam M41 компании Schneider Electric.

## 6 КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ШИНАХ 10 кВ

При высокой доле выпрямителей в нагрузке промышленного предприятия неизбежно возникает проблема их электромагнитной совместимости как между собой, так и с другими промышленными установками. Для расчета качества электроэнергии в точке подключения конденсаторных батарей на шинах 10 кВ необходимо сформировать схему замещения.

### 6.1 Несинусоидальность напряжения

Порядок построения схемы замещения изложен в [15].

Для  $k$ -ой гармоники реактивное сопротивление трансформатора ГПП [8] ( $S_H=32$  МВА,  $P_{кз}=145$  кВт,  $u_k=0.115$ ):

$$x_{m(k)} = \frac{u_k U_H^2}{S_H} k = 0.46 \cdot k \text{ Ом.}$$

Электрическую сеть с мощностью короткого замыкания в точке подключения  $S_{kz}=1000$  МВА можно представить при 10 кВ в виде индуктивного сопротивления

$$X_{\text{сети}(k)} = \frac{U_H^2}{S_{kz}} k = 0.1 \cdot k \text{ Ом.}$$

Согласно расчета нагрузок (табл. 2.3) выпрямительная нагрузка предприятия 34.4 МВт и 25 МВАр. Общая нагрузка предприятия 42.9 МВт и 30.900 МВАр. Комплексную нагрузку на одну секцию шин  $P=4.3$  МВт и  $Q=3$  МВАр. Ее можно представить в виде схемы замещения для  $k$ -ой гармоники с параллельно соединенными сопротивлениями

$$R_{(k)} = \frac{U^2}{P} = 23.5 \text{ Ом, } X_{(k)} = \frac{U^2}{Q} k = 33.9 \cdot k \text{ Ом.}$$

Общая мощность выпрямителей на одну секцию шин  $S=21.3$  МВА. На схеме замещения выпрямитель можно представить источником тока

$$I_{(k)} = \frac{S}{kU\sqrt{3}} = \frac{1253}{k} \text{ А.}$$

Для двенадцатифазного выпрямителя могут генерироваться 11-я, 13-я, 23-я, 25-я и т.д. гармоники.

Проводимость выбранной схемы компенсирующего устройства (рис. 3.2) равна сумме проводимостей ее ветвей и имеет вид

$$Y_{(k)} = \frac{-jk\omega C_{11}}{(k\omega)^2 L_{11} C_{11} - 1} + \frac{-jk\omega C_{13}}{(k\omega)^2 L_{13} C_{13} - 1} + \frac{-jk\omega C_{23}}{(k\omega)^2 L_{23} C_{23} - 1} + \frac{-jk\omega C_{25}}{(k\omega)^2 L_{25} C_{25} - 1} +$$
$$\frac{-jk\omega C_{35}}{(k\omega)^2 L_{35} C_{35} - 1} + \frac{-jk\omega C_{37}}{(k\omega)^2 L_{37} C_{37} - 1}$$

Схема замещения конденсаторной батареи мощностью  $Q_C=7.4$  МВАр состоит из конденсатора, емкостное сопротивление которого для  $k$ -ой гармоники

$$X_{c(k)} = \frac{U^2}{kQ_c} = \frac{13.5}{k} \text{ Ом.}$$

Схема замещения шин 10 кВ для k-ой гармоники представлена на рис. 6.1.

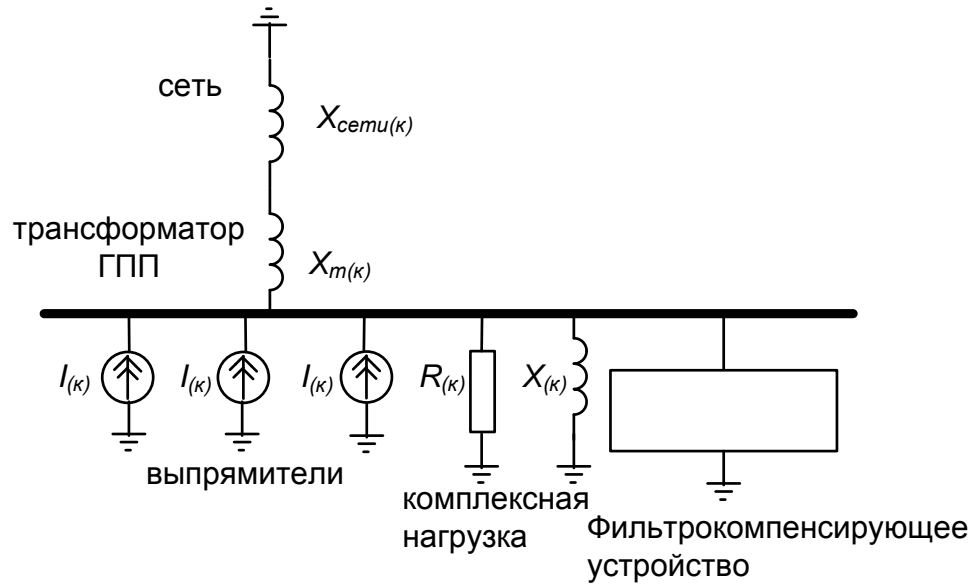


Рисунок 6.1 - Схема замещения для k-ой гармоники

Эквивалентное сопротивление относительно источника возмущения

$$\underline{Z}_{(k)} = \left( \frac{k}{-jX_{C(1)}} + \frac{1}{jX_{(1)}k} + \frac{1}{R_{(1)}} + \frac{1}{j(X_{сетu(1)} + X_{T(1)max})k} + Y_{(k)} \right)^{-1}.$$

Напряжение на шинах

$$U_{(k)} = |I_{(k)} \underline{Z}_{(k)}|.$$

Результаты расчета представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 - Несинусоидальность напряжения

Номер гармоники	$Y_{(k)}, \text{ См}$	$Z_{(k)}, \text{ Ом}$	$U_{(k)}, \text{ В}$
11	-64.3j	0.016	1.8
13	-19.9j	0.052	5.1
23	49.6j	0.02	1.1
25	-26.5j	0.04	2
35	46.6j	0.02	0.8
37	-187j	0.005	0.2

Из таблицы 6.1 видно, что коэффициент несинусоидальности на шинах 10 кВ равен

$$K = \frac{\sqrt{U_{(11)}^2 + U_{(13)}^2 + U_{(23)}^2 + U_{(25)}^2 + U_{(35)}^2 + U_{(37)}^2}}{U_{(1)}} 100 = 0.1\%,$$

что значительно меньше предельно допустимых значений в 5% [10].

## 6.2 Провал напряжения при пуске двигателя

При запуске двигателя допускают следующие понижения напряжения [10]:

- на шинах питающих подстанций до 85% номинального напряжения при питании чисто силовой резкопеременной нагрузки напряжением 10 кВ;
- на шинах цеховых подстанций при редком пуске подключенных к ним двигателей (1 раз в смену) до 80% номинального напряжения.

Расчёт напряжения на зажимах синхронных двигателей, подключенных к сборным шинам ГПП, выполняется по схеме замещения, представленной на рисунке 6.2.



Рисунок 6.2 – Схема замещения для расчета напряжения на зажимах ЭД

Активными сопротивлениями можно пренебречь и элементы СЭС представляют своими индуктивными сопротивлениями, приведенными к базисным значениям.

Остаточное напряжение на сборных шинах, к которым подключены электродвигатели

$$U_d = U_c \frac{x_{пэ}}{x_c + x_{пэ}}, \quad (6.1)$$

где  $U_c$  – напряжение питающей сети, кВ;

$x_{пэ}$  – эквивалентное сопротивление узла;

$x_c$  – суммарное сопротивление питающей сети до СШ, к которым подключен электродвигатель.

Эквивалентное сопротивление узла

$$x_{пэ} = \frac{S_б U_{ном}^2}{S_{пэ} U_б^2}, \quad (6.2)$$

где  $S_б$  – базисная мощность, МВА;

$U_б$  – базисное напряжение, кВ;

$S_{пэ}$  – суммарная эквивалентная пусковая нагрузка узла, МВА.

Суммарная эквивалентная пусковая нагрузка узла

$$S_d = \sqrt{P_n^2 + (S_n + Q_n)^2}, \quad (6.3)$$

где  $P_n$  – активная мощность нагрузки, подключенной к узлу и не участвующей в пуске, кВт;

$S_n$  – расчетная пусковая мощность электродвигателей, кВА;

$Q_n$  – реактивная мощность пусковой нагрузки, подключенной к узлу и не участвующей в пуске, кВт.

Расчетная пусковая мощность электродвигателя

$$S_{пэ} = \frac{P_d K_n}{\eta \cos \varphi}, \quad (6.4)$$

									Лист
									36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.057.00.00 ПЗ				

где  $P_d$  – номинальная мощность двигателя, кВт;

$K_n = 5$  – кратность пускового тока электродвигателя;

$\eta = 0.9$  – коэффициент полезного действия электродвигателя;

$\cos\varphi = 0.85$  – коэффициент мощности электродвигателя.

Расчетная пусковая мощность наиболее мощного электродвигателя  $P_d = 1600$  кВт согласно (6.4) составляет  $S_{пз} = 10.5$  МВАр.

Нагрузка для одной шины 10 кВ главной понизительной подстанции без наиболее мощного двигателя составляет (см. раздел 2)  $P_n = 21.5 - 1.3 = 20.2$  МВт и  $Q_n = 15.5 - 0.9 = 14.6$  МВАр. Суммарная эквивалентная пусковая нагрузка узла согласно (6.3) составляет  $S_{пз} = 32.3$  МВА.

Эквивалентное сопротивление узла при  $S_6 = 1000$  МВА,  $U_6 = U_{пз} = 10$  кВ согласно (6.2) составляет 31.

Максимальное сопротивление трансформатора ГПП мощностью  $S_T = 32$  МВА,  $u_k = 0.115$

$$x_m = \frac{u_k S_6}{S_m} = 3.6.$$

Остаточное напряжение на сборных шинах, к которым подключены электродвигатели согласно (6.1) составляет  $U_d = 9$  кВ. При запуске синхронных двигателей допускается провал напряжения на шинах ГПП не более 15% относительно номинального напряжения сети при питании осветительной и смешанной нагрузок от указанных выше сборных шин [10]:

$$\Delta U = \frac{U_c - U_d}{U_c} = 0.1.$$

Выводы по разделу шесть:

Качество электроэнергии на шинах 10 кВ удовлетворяет установленным нормативным требованиям.

									Лист
									37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.057.00.00 ПЗ				



## 7 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ

### 7.1 Выбор вариантов для сравнения

РУ-10 кВ двухтрансформаторной ГПП выполняем двумя одиночными секционированными выключателями системами шин подключаемых к расщепленным обмоткам понижающих трансформаторов [7, п.6.3.3].

Питание индивидуальных электроприемников 10 кВ – синхронных двигателей выполняется радиальными кабельными линиями от ГПП. Питание трансформаторных подстанций может выполняться кабельными линиями как по радиальной, так и по магистральной (к одной магистрали могут быть подключены до трех трансформаторов 1000 кВА или два трансформатора мощностью 1600 кВА) схеме [7, п.6.3]. Радиальные схемы распределения электроэнергии применяются при нагрузках, расположенных в различных направлениях [7, п.6.3.10].

Схему строят так, чтобы все её элементы постоянно находились под нагрузкой, а при аварии на одном из них оставшиеся в работе могли перенести на себя его нагрузку путем перераспределения её между собой с учетом допустимой перегрузки. Распределительные сети предприятия напряжением 10 кВ выполним кабельными линиями. Принципиальная схема внутреннего электроснабжения предприятия представлена на плакате 1.

Выбор способа распределения электроэнергии зависит от величины электрических нагрузок и их размещения, плотности застройки предприятия, конфигурации технологических, транспортны и других коммуникаций, типа грунта на территории предприятия.

Ввиду отсутствия информации о расположении цехов рассматриваемого промышленного предприятия предположим, что цеха 1 и 8 находятся в одном направлении от источника питания (главной понизительной подстанции). В этих условиях указанные цеха можно запитать по двум радиальным линиям или по одной магистральной линии. Оптимальное построение схемы внутреннего электроснабжения выполняется путем технико-экономического сравнения вариантов.

Согласно расчету нагрузок (таблица 2.2) мощность трансформаторных подстанций для цеха 1 должна быть не менее

$$S_{\text{т}} = \frac{P}{2k_3} = \frac{765}{1.4} = 546 \text{ кВА},$$

а для цеха 8 не менее

$$S_{\text{т}} = \frac{P}{2k_3} = \frac{290}{1.4} = 207 \text{ кВА}.$$

Поэтому выберем трансформаторы 630 кВА (ТП1) для цеха 1 и трансформатор 250 кВА (ТП8) для цеха 8. Кабельные линии согласно предыдущим расчетам выбираются по термической стойкости и их сечение равно 120 мм<sup>2</sup> (аналогично расчету для двигателя).

1. Магистральная схема подключения цеховых трансформаторных подстанций ГПП-ТП1-ТП-8 изображена на рисунке 7.1.

										Лист
										38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.057.00.00 ПЗ					



$$\Delta A = 3nI_{\text{р.л.}}^2 r_0 l \tau,$$

где  $l$  – длина линии, км.

$r_0$  = Ом/км – погонное активное сопротивление линии, ,

$n$  – количество линий;

$\tau = 4000$  ч -- время использования максимума потерь (см. задание).

Стоимость потерь электрической энергии по двухставочному тарифу:

$$C = \Delta A \delta \left( \frac{\alpha K_M}{\tau} + \beta \right),$$

где  $\delta = 1.05$  – поправочный коэффициент;

$\alpha = 11150$  руб/кВт год – основная ставка тарифа [16];

$\beta = 2.62$  руб/кВт – стоимость одного кВт·ч электроэнергии [16];

$K_M = 1$  – отношение потерь активной мощности предприятия  $\Delta P_p$  в момент наибольшей активной нагрузки энергосистемы к максимальным потерям  $\Delta P_p$  активной мощности предприятия.

Расчет стоимости потерь электроэнергии в кабельных линиях и стоимость кабельных линий проложенных в траншеях [17] представлен в таблице 7.1 для обоих вариантов.

Таблица 7.1 – Расчет кабельных линий

Наименование КЛ	Ед. изм.	Кол-во	Стоим.ед. тыс.руб/км	К, тыс.руб.	Е, о.е.	Е·К, тыс.руб/год	$\Delta A$ , кВт·ч/год	Сэ, тыс.руб/год
Вариант I								
ГПП-ТП1	км	2x0,121	410,0	99,2	0,152	15,08	743	1,56
ТП1-ТП8	км	2x0,188	410,0	154,16	0,152	23,43	95	0,20
Всего	-	-	-	253,38	-	38,51	838	1,76
Вариант II								
ГПП-ТП1	км	2x0,124	410,0	101,68	0,152	15,46	392	0,83
ТП1-ТП8	км	2x0,309	410,0	253,38	0,152	38,51	157	0,33
Всего	-	-	-	355,06	-	53,97	549	1,16

Условия выбора, расчетные параметры сети и справочные данные ячеек КРУ представлены в таблице 7.2 на примере выбора ячейки отходящей кабельной линии ГПП-ТП1 (вариант I).

Таблица 7.2 – Выбор КРУ

Условия выбора	Расчетные параметры сети	Каталожные данные К-104
$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$	$U_{\text{уст}} = 10$ кВ	$U_{\text{ном}} = 10$ кВ
$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{max}}$	$I_{\text{max}} = 84$ А	$I_{\text{ном}} = 630$ А
$i_{\text{дин}} \geq I_{\text{max}}$	$i_v = 32,3$ кА	$i_v = 81$ кА
$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} \geq B_k$	$B_k = 127,3$ кА <sup>2</sup> ·с	$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 1200$ кА <sup>2</sup> ·с

Аналогичные ячейки КРУ принимаются для остальных отходящих от ГПП кабельных линий для варианта I, так и для варианта II. В ячейках КРУ типа К-104 устанавливаются вакуумные выключатели типа ВВЭ-10-20/630 УЗ.

Поскольку сравниваемые варианты СЭС характеризуются одинаковыми денежными потоками, то сравнение вариантов проводим на основе минимума годовых приведенных затрат [1]:

$$Z = \sum_i^n E_i k_i + C_3 \rightarrow \min$$

где  $E_i = E_n + E_{ai} + E_{oi}$  – общие ежегодные отчисления от капитальных вложений;

$k_i$  – сумма капитальных затрат  $i$ -ой группы одинаковых электроприемников;

$C_3$  – стоимость годовых потерь электроэнергии.

$E_n=0,12$  – нормативный коэффициент эффективности;

$E_{ai}$  и  $E_{oi}$  – отчисления на амортизацию и на обслуживание.

Стоимость электрооборудования и кабельной продукции принимаем из [17], а результаты технико-экономических расчетов сведем в таблицу 7.3.

Таблица 7.3 – Техничко-экономические показатели

Наименование	Ед. изм.	Кол-во	Ст-сть ед-цы т.руб	$k_i$ , т.руб	$E_i$ , 1/год	$k_i \cdot E_i$ , т.руб/год	Потери $\Delta A$ , кВт/год	$C_3$ , т.руб/год	Прив. затр., т.руб/год
Вариант I									
Ячейки КРУ	шт	2	313	626	0,193	121			
Кабельные линии				253	0,152	39	838	5	
Всего по вар.				963		176	838	5	181
Вариант II									
Ячейки КРУ	шт	4	313	1252	0,193	242			
Кабельные линии				355	0,152	54	549	3	
Всего по вар.				1607		296	549	3	299

Приведенные затраты во II варианте больше чем, в первом

$$\frac{299 - 181}{299} 100\% = 40.3\%$$

Поэтому принимаем вариант I, а именно магистральную схему соединения цеховых трансформаторных подстанций.

Выводы по разделу семь:

Для ТП1 и ТП8 принята магистральная схема соединения цеховых трансформаторных подстанций на основании технико-экономического сравнения вариантов.















Молниеприемник непосредственно воспринимает прямой удар молнии, поэтому он должен надежно противостоять механическим и тепловым воздействиям тока и высокотемпературного канала молнии. Падение молниеотвода на токоведущие элементы электроустановки может вызвать тяжелую аварию, поэтому несущая конструкция молниеотвода должна иметь высокую механическую прочность, которая исключила бы подобные случаи при эксплуатации оборудования.

Характерное количество грозовых часов на Урале в году 40...60, поэтому по требованиям ПУЭ [7] необходимо организовать молниезащиту. Установим четыре молниеотвода (рис. 8.3).

Высота молниеотвода определяется по выражению [20]:

$$h = \frac{r_x + 1.63h_x}{1.5},$$

где  $h_x$  – высота защищаемого объекта,  $h_x=14$  м (для М1 и М2),  $h_x=14$  м (для М3 и М4);  $r_x$  – радиус зоны защиты молниеотвода на высоте  $h_x$ ,  $r_x=14$  м (для М1 и М2),  $r_x=14$  м (для М3 и М4). Высота молниеотводов М1 и М2  $h_1=h_2=24.1$  м, молниеотводов М3 и М4  $h_3=h_4=16.6$  м.

Высота зоны защиты и радиус зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода [28]:

$$h_0 = 0.92h, r_0 = 1.5h.$$

Высота зоны защиты молниеотводов М1 и М2  $h_{01}=h_{02}=22.2$  м, молниеотводов М3 и М4  $h_{03}=h_{04}=15.3$  м. Радиус зоны защиты молниеотводов М1 и М2  $r_{01}=r_{02}=36.2$  м, молниеотводов М3 и М4  $r_{03}=r_{04}=24.9$  м.

Габаритные размеры внутренней области зоны защиты двух одиночных стержневых молниеотводов определяются по формуле [20]:

$$h_c = 0.5(h_{c1} + h_{c2}), r_c = 0.5(r_{c1} + r_{c2}).$$

Габаритные размеры внутренних областей

- между молниеотводами М1 и М3  $h_{c13}=18.8$  м,  $r_{c13}=30.6$  м;
- между молниеотводами М1 и М2  $h_{c12}=22.2$  м,  $r_{c12}=36.2$  м;
- между молниеотводами М3 и М4  $h_{c34}=15.2$  м,  $r_{c34}=24.9$  м.

## 8.5. Пожарная безопасность

По НПБ 105-03 определим категории пожарной безопасности имеющиеся помещения: для ОРУ – В2, для ЗРУ – Д.

Причиной загорания трансформатора могут быть КЗ в обмотках, возникающие в результате пробоя изоляции при перенапряжениях (например, во время грозы) или при старении изоляции, и пробоя воздушного промежутка между вводами. Возникающая дуга, имеющая температуру порядка 3000...4000°С, вызывает пиролиз изоляционного масла. При значительной продолжительности аварийного режима количество выделившихся газообразных продуктов пиролиза (водорода, метана, этилена и других углеводородов) может быть таким, что внутри бака происходит резкое увеличение давления, следствием которого, как правило, бывает частичная или полная разгерметизация бака. Продукты пиролиза легко воспламе-

										Лист
										48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2018.057.00.00 ПЗ					

няются. Источником зажигания может быть и просто открытый огонь, занесенный извне, способный воспламенить газообразные продукты, выделяющиеся из бака в режиме нормальной эксплуатации.

Развитию пожара в трансформаторах способствует высокая теплопроводная способность трансформаторного масла и большая теплопроводность материалов, используемых для их изготовления.

В соответствии с ПУЭ для предотвращения растекания масла и распространения пожара при повреждении маслonaполненных силовых трансформаторов под трансформаторами смонтированы маслоприемники, т.к. количество масла одного трансформатора превышает 1000 кг (для ТРДНС-32000/35/10 объем масла составляет 14,2 тонны).

Из маслоприемников масло сбрасывается по сети маслоотводов в закрытый маслосборник вместимостью 25 м<sup>3</sup>. Маслосборники рассчитаны на прием 100% масла, залитого в трансформатор. А также на задержание 20% расчетного расхода воды. Маслоотводы рассчитаны на отвод 50% масла и полное количество воды не более чем за 0,25 часа.

В период эксплуатации подстанции, при достижении уровня замасленной воды в маслосборнике выше 0,5 м от дна должна производиться откачка и вывоз в установленные места (рис. 7.4). На рис. 7.4 использованы следующие обозначения: 1 – трансформатор; 2 – маслоприемник; 3 – дренажно-гравийная засыпка; 4 – маслоотвод; 5 – маслосборник; 6 – насос; 7 – трубопровод; 8 – фильтр; 9 – колодец.

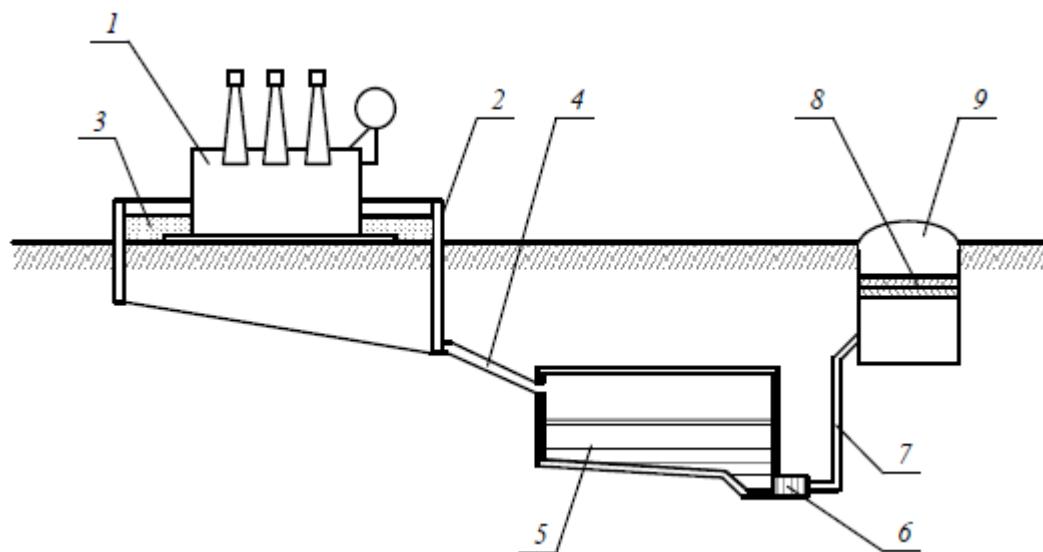


Рисунок 7.4 - Технологическая схема отвода замасленных стоков трансформатора

Так как единичная мощность трансформаторов менее 63 МВА, то пожарные водопроводы не предусматриваются. В соответствии с ПУЭ [7] расстояние в свету между открыто установленными трансформаторами, для ТРДНС – 32000/35/10, должно быть не менее 1,25м.

Отверстие выхлопной трубы масляного трансформатора не должно быть направлено на близко установленное оборудование, для выполнения этого требования допускается установка заградительного щита против отверстия трубы.

Выводы по разделу восемь:

В разделе описаны меры по обеспечению безопасности, выбраны необходимые средства защиты на ГПП, рассчитано заземлительное устройство ГПП, молниезащита. Описаны меры по обеспечению пожаробезопасности.

					13.03.02.2018.057.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методом упорядоченных диаграмм выполнен расчет электрических нагрузок на шинах 10 кВ. По результатам расчета нагрузок выбрана марка трансформатора ГПП.

Компенсация реактивной мощности на шинах 10 кВ необходима по условиям увеличения пропускной способности трансформатора и экономической целесообразности для энергосистемы. Наличие мощных тиристорных выпрямителей накладывает ограничения на схему компенсирующего устройства. Для шин 10 кВ принято решение компенсировать часть мощности при помощи резонансных фильтров, выбирая параметры фильтров по минимальной установленной мощности конденсаторных батарей, а остальную часть при помощи конденсаторных батарей.

Выбор кабелей до электродвигателей выполнялся по экономической плотности тока, их проверка – по длительно допустимому току и термической стойкости.

Для проверки кабельных линий на термическую стойкость и для получения исходных данных для расчета релейной защиты двигателя был выполнен расчет токов короткого замыкания.

Релейная защита мощного двигателя позволяет предотвращать аварийные режимы его работы: при перегрузках, при различных видах коротких замыканий и при снижении напряжения ниже допустимого значения. Релейная защита согласована с характеристиками системы электроснабжения в точке подключения.

Для шин 10 кВ проведен расчет несинусоидальности напряжения. Показатели качества электроэнергии соответствуют нормативным требованиям.

Для выявления оптимальной схемы электроснабжения цеха проведено сравнение радиальной и магистральной схем. В результате технико-экономического сравнения вариантов принята магистральная схема.

В разделе БЖД рассмотрен вопрос о безопасности жизнедеятельности на ГПП. Также проведено сравнение различных типов РПН трансформаторов.

В результате проведенных в ВКР расчетов установлено, что условия работы двигателей соответствуют всем нормативным требованиям.

					13.03.02.2018.057.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51



19. СО 153-34.21.122-2001. Инструкция по устройству молниезащиты зданий , сооружений и промышленных коммуникаций. Введ. 2003-06-30. М.: Минэнерго России, 2003-29 с.

20. СО 153-343.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, строений и промышленных коммуникаций. – М.: Энергоатомиздат, 2003 – 48 с.

					<i>13.03.02.2018.057.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		53