

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

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование)

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

Электроснабжение
(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему «Реконструкция подстанции 110/6 кВ ПАО «КОС»»

Студент

И.Н. Гулягин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., А.Н. Черненко

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

Тольятти 2020

Аннотация

В выпускной квалификационной работе рассмотрены вопросы реконструкции главной понизительной подстанции 110/6 кВ ПАО «КОС». В ходе выполнения работы были определены текущие и перспективные электрические нагрузки предприятия и подстанции. Обоснована целесообразная мощность силовых трансформаторов ГПП. Для открытого распределительного устройства 110 кВ выбрана схема электроснабжения, отвечающая требованиям надежности. В распределительном устройстве 6 кВ выбраны новые комплектные ячейки и устанавливаемое в них оборудование. Произведен расчет токов короткого замыкания на сторонах 110 и 6 кВ, результаты которого использовались для проверки выбираемого оборудования на подстанции. Выполнены расчеты уставок новой микропроцессорной защиты силовых трансформаторов ГПП.

Бакалаврская работа выполнена на 59 листах основной пояснительной записки, содержит 4 таблицы и 3 графических рисунка. Графическая часть работы выполнена в виде шести чертежей и плакатов формата А1.

Содержание

Введение	4
1 Характеристика производственного объекта	6
2 Расчет перспективных нагрузок ГПП предприятия	8
3 Выбор числа и номинальной мощности трансформаторов ГПП	12
4 Разработка предложений по модернизации электрической схемы подстанции	22
5 Определение значений токов КЗ на сторонах 110 и 6 кВ ГПП	24
6 Выбор электрических аппаратов для установки на ГПП предприятия	30
7 Расчет уставок микропроцессорной защиты трансформаторов подстанции	47
8 Расчет суммарных электрических нагрузок системы собственных нужд ГПП	55
Заключение	56
Список используемых источников	57

Введение

В 2020 году в ПАО «КОС» планируется завершить работы по замене оборудования открытых распределительных устройств на главных понизительных подстанциях (ГПП) устаревшей системы «отделитель – короткозамыкатель» на элегазовые выключатели 110 кВ. Таким образом, энергетиками компании будет выполнен один из сложных этапов организационно-технических мероприятий по замене оборудования и реализации плана по повышению надежности электроснабжения промышленных потребителей Республики Татарстан.

«Системы «отделитель-короткозамыкатель» на главных понизительных подстанциях использовались с 1960-х годов 20 века, но с ростом мощности производств и совершенствованием технологических процессов потребовалась их замена. Они уже не отвечали современным требованиям надежности энергообеспечения, допуская нарушения в электроснабжении всего промышленного узла, приводя к значительным экономическим ущербам» [1-2].

С целью надежного и бесперебойного энергоснабжения заводов и производств из схем электроснабжения потребовалось исключить системы «отделитель – короткозамыкатель». Начиная с 2008 года и по сегодняшний день планомерно ведется работа по замене устаревшего оборудования. На первой и второй промышленных зонах акционерного общества на 15 главных понизительных подстанциях было заменено оборудование на сумму, превышающую 1 млрд рублей.

Оборудование менялось в комплексе с заменой устаревших электромеханических устройств релейной защиты на устройства микропроцессорных защит.

«Новое установленное оборудование соответствует всем современным требованиям надежности электроснабжения, в том числе и в случаях

нештатных ситуаций. Оно выделяет поврежденный участок сети, не внося нарушений во всю схему электроснабжения» [3-4].

Подходящий к завершению этап замены устаревшего электрооборудования, а также продолжающиеся работы по замене оборудования распределительных устройств 6 кВ и внедрение быстродействующих устройств автоматического ввода резервного питания, в совокупности позволят значительно повысить надежность электроснабжения производств предприятия.

Таким образом, на предприятии создаются условия для обеспечения надежной работы технологических производств по выпуску продукции и снижения воздействия на окружающую среду.

Целью бакалаврской работы является разработка мероприятий по реконструкции электрической части понизительной подстанции ПАО «КОС», направленных на повышение надежности электроснабжения потребителей, получающих питание от подстанции.

1 Характеристика производственного объекта

От реконструируемой подстанции осуществляется питание потребителей завода по производству бисфенола А (БФА). Завод состоит из производства фенола и ацетона и производства бисфенола А.

Данное предприятие является первым в технологической цепочке переделов ПАО «КОС» и является важным составляющим в суммарном выпуске продукции. «Основными продуктами завода являются: бисфенол А, фенол и ацетон. Основное сырьё - пропилен и бензол.

Основная часть производимых фенола (около 85%) и ацетона (около 45%) применяется в качестве сырья при производстве бисфенола А.

Фенол и ацетон получают кумольным методом из бензола и пропилена. Фенол используется для производства капролактама, дифенилолпропана, медицинских препаратов, синтетических смол, пластификаторов, гербицидов и в других отраслях.

Ацетон используется в производстве уксусного ангидрида, ацетонциангидрина, дифенилолпропана, как растворитель в различных отраслях промышленности» [5].

Проектирование, возведение и ввод в эксплуатацию производства бисфенола А осуществлялось в течение двух лет. В начале 2000 годов ОАО «КОС» подписало контракты на закупку лицензий и базового проектирования для производства бисфенола А с японской корпорацией Idemitsu Kosan Company.

В октябре 2007 года завод приступил к широкомасштабному промышленному выпуску целевого продукта бисфенола А в гранулированном виде, что позволило сделать качественный рывок и занять лидирующие позиции в отрасли.

Бисфенол А по данному методу получают путем конденсации фенола и ацетона в присутствии катализатора - катионообменной смолы.

Полученный по такой технологии бисфенол А отличается высокой чистотой.

Основным направлением использования бисфенола А (85-90%) является производство поликарбонатов на ПАО «КОС».

«Вторая по размеру область конечного потребления бисфенола А - производство эпоксидных смол, используемых для лакокрасочных материалов и порошковых покрытий, клеев, изделий для электронных плат.

Другие сферы применения бисфенола А - это полисульфоновые смолы, полиарилатные смолы, специальные фенолальдегидные смолы, полиэфирные имидные смолы, ненасыщенные сложноэфирные смолы, бромированные ингибиторы горения и стабилизаторы для различных полимеров» [5].

Проектная мощность завода по выпуску бисфенола А составляет 70 тыс. тонн в год.

Выводы по разделу: дана характеристика производственного объекта.

2 Расчет перспективных нагрузок ГПП предприятия

Перечень трансформаторных подстанций и распределительных пунктов, запитанных от главной понизительной подстанции приведен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Перечень трансформаторных подстанций и распределительных пунктов, запитанных от главной понизительной подстанции

№ п/п	Номер трансформаторной подстанции или распределителя	КНЭ	P_{max} , МВт	$\cos\varphi$	U, кВ
1	60	1	0,8	0,95	6
2	3, 4	1	3,762	0,96	6
3	2	1	7,000	0,9	6
4	6	1	8,960	0,9	6
5	18	1	9,390	0,9	6
6	19	1	2,400	0,9	6
7	924	1	5,805	0,9	6
8	17	1	0,9	0,98	6
9	19	1	0,7	0,91	6
10	11	1	11,510	0,9	6

В таблице КНЭ обозначена категория по надежности электроснабжения электроприемников потребителя.

Полная нагрузка каждого из потребителей ГПП [6-7]:

$$S_{in}(t) = \frac{P_{in}(t)}{\cos\phi_{in}(t)}. \quad (2.1)$$

- потребители города:

$$S_{город_ТПП\#60} = \frac{0,91}{0,94} = 0,968 \text{ МВА};$$

- насосная станция:

$$S_{\text{насосная_ППН}\#3,\#4} = \frac{3,88}{0,95} = 4,084 \text{ МВА};$$

- потребители промышленного предприятия ПАО «КОС»:

$$S_{\text{хим._ППН}\#2} = \frac{7,2}{0,91} = 7,912 \text{ МВА};$$

$$S_{\text{хим._ППН}\#6} = \frac{10,05}{0,92} = 10,924 \text{ МВА};$$

$$S_{\text{хим._ППН}\#11} = \frac{11,46}{0,93} = 12,323 \text{ МВА};$$

$$S_{\text{хим._ППН}\#18} = \frac{9,37}{0,93} = 10,075 \text{ МВА};$$

$$S_{\text{хим._ППН}\#19} = \frac{1,72}{0,92} = 1,87 \text{ МВА};$$

$$S_{\text{хим._ТПН}\#17} = \frac{0,93}{0,95} = 0,979 \text{ МВА};$$

$$S_{\text{хим._ППН}\#924} = \frac{5,82}{0,92} = 6,326 \text{ МВА};$$

$$S_{\text{хим._ТПН}\#19} = \frac{1,72}{0,92} = 1,87 \text{ МВА}.$$

Полная мощность всех потребителей, получающих питание от ГПП:

$$S_{\text{max}}^{\text{ПС}} = \sum S_n^i = S_{\text{город}} + S_{\text{насосная}} + S_{\Sigma\text{хим.}} = 0,968 + 4,084 + 7,912 + 10,924 + 10,075 + 3,714 + 6,326 + 0,979 + 1,870 + 12,323 = 59,175 \text{ МВА}.$$

Потребление электроэнергии потребителями ГПП:

$$W_n = \sum_{i=1}^n P_{in}(t) \cdot t_{in}. \quad (2.2)$$

– потребители города:

$$W_{ТИИ\text{№}60} = 0,91 \cdot (1 \cdot 2 + 0,8 \cdot 2,6 + 0,6 \cdot 3,6 + 0,3 \cdot 1,76) \cdot 10^3 = 6159 \text{ MBm} \cdot \text{ч};$$

– насосная станция:

$$W_{ПИИ\text{№}3,\text{№}4} = 3,88 \cdot (1 \cdot 2,8 + 0,91 \cdot 2,2 + 0,75 \cdot 3,76) \cdot 10^3 = 29573 \text{ MBm} \cdot \text{ч};$$

– потребители промышленного предприятия ПАО «КОС»:

$$W_{ПИИ\text{№}2} = 7,2 \cdot (1 \cdot 0,7 + 0,91 \cdot 2 + 0,8 \cdot 1,8 + 0,72 \cdot 2,8 + 0,4 \cdot 1,46) \cdot 10^3 = \\ = 47232 \text{ MBm} \cdot \text{ч};$$

$$W_{ПИИ\text{№}6} = 10,05 \cdot (1 \cdot 0,7 + 0,91 \cdot 2 + 0,8 \cdot 1,8 + 0,72 \cdot 2,8 + 0,4 \cdot 1,46) \cdot 10^3 = \\ = 65928 \text{ MBm} \cdot \text{ч};$$

$$W_{ПИИ\text{№}11} = 11,46 \cdot (1 \cdot 0,7 + 0,91 \cdot 2 + 0,8 \cdot 1,8 + 0,72 \cdot 2,8 + 0,4 \cdot 1,46) \cdot 10^3 = \\ = 75178 \text{ MBm} \cdot \text{ч};$$

$$W_{ПИИ\text{№}18} = 9,37 \cdot (1 \cdot 0,7 + 0,91 \cdot 2 + 0,8 \cdot 1,8 + 0,72 \cdot 2,8 + 0,4 \cdot 1,46) \cdot 10^3 = \\ = 61467 \text{ MBm} \cdot \text{ч};$$

$$W_{ПИИ\text{№}19} = 3,38 \cdot (1 \cdot 0,7 + 0,91 \cdot 2 + 0,8 \cdot 1,8 + 0,72 \cdot 2,8 + 0,4 \cdot 1,46) \cdot 10^3 = \\ = 22173 \text{ MBm} \cdot \text{ч};$$

$$W_{ПИИ\text{№}924} = 5,82 \cdot (1 \cdot 0,7 + 0,91 \cdot 2 + 0,8 \cdot 1,8 + 0,72 \cdot 2,8 + 0,4 \cdot 1,46) \cdot 10^3 = \\ = 38179 \text{ MBm} \cdot \text{ч};$$

$$W_{ТИИ\text{№}17} = 0,93 \cdot (1 \cdot 0,7 + 0,91 \cdot 2 + 0,8 \cdot 1,8 + 0,72 \cdot 2,8 + 0,4 \cdot 1,46) \cdot 10^3 = \\ = 6101 \text{ MBm} \cdot \text{ч};$$

$$W_{ТИИ\text{№}19} = 1,72 \cdot (1 \cdot 0,7 + 0,91 \cdot 2 + 0,8 \cdot 1,8 + 0,72 \cdot 2,8 + 0,4 \cdot 1,46) \cdot 10^3 = \\ = 11283 \text{ MBm} \cdot \text{ч}.$$

Годовое потребление электроэнергии:

$$W_{ПС} = \sum W_n = 363273 \text{ MBm} \cdot \text{ч.}$$

Число часов максимума нагрузки ГПП:

$$T_m = \frac{W_{ПС}}{\sum P_{\max}} = \frac{W_{ПС}}{P_{\max ПС}}, \quad (2.3)$$

$$T_m = \frac{363273}{59,175} = 6139 \text{ ч.}$$

Коэффициент заполнения годового графика нагрузки:

$$K_{зан} = \frac{W_{ПС}}{8760 \cdot P_{\max ПС}} = \frac{T_m}{8760}. \quad (2.4)$$

$$K_{зан} = \frac{6139}{8760} = 0,7.$$

Выводы по разделу: произведен расчет перспективных нагрузок ГПП предприятия.

3 Выбор числа и номинальной мощности трансформаторов ГПП

Основная часть потребителей химического предприятия, получающая питание от ГПП относится к 1й категории по надёжности электроснабжения. Тогда при условии установки на ГПП двух силовых трансформаторов мощность каждого из них определяется по формуле:

$$S_{\text{номт}} \approx K_{1-2} \cdot S_{\text{РП}} \frac{1}{K_{\text{пер}}}, \quad (3.1)$$

$$S_{\text{номт}} \approx 0,8 \cdot 59175 \cdot \frac{1}{1,4} = 33814 \text{ кВА.}$$

Выбираем из каталога производителя силовых трансформаторов два трансформатора с расщепленной обмоткой низкого напряжения ТРДН-40000/110/6/6 и ТРДН-63000/110/6/6.

3.1 Вариант с установкой на подстанции трансформаторов ТРДН - 40000/110/6/6

Выписываем технические характеристики выбранного для рассмотрения в первом варианте силового трансформатора: $\Delta P_{\text{XX}} = 34.5 \text{ кВт}$, $\Delta P_{\text{КЗ}} = 170.5 \text{ кВт}$, $i_{\text{XX}} = 0.56 \%$, $u_{\text{КЗ}} = 10.5 \%$, $K_{\text{T}} = 39529 \text{ тыс. руб.}$

«Приведенные потери активной мощности в СТ в режиме XX» [8-10]:

$$\Delta P_x' = \Delta P_x + K_{\text{un}} \cdot \Delta Q_x, \quad (3.2)$$

$$\Delta P_x' = 34.5 + 0.05 \cdot 224 = 45.7 \text{ кВт},$$

где

$$\Delta Q_x = I_{\text{xx}\%} \cdot S_{\text{ном.т}} / 100, \quad (3.3)$$

$$\Delta Q_x = 0.56 \cdot 40000 / 100 = 224 \text{ квар},$$

$$K_{un} = 0,05 \text{ кВт} / \text{квар}.$$

«Приведенные потери активной мощности в СТ в режиме КЗ» [11]:

- на стороне ВН:

$$\Delta Q_{к.в} = U_{к.в\%} \cdot S_{ном\ m} / 100, \quad (3.4)$$

$$\Delta Q_{к.в} = 1.3 \cdot 40000 / 100 = 525 \text{ квар},$$

$$U_{к.в\%} = 0,125 \cdot u_{к.ВН-НН}, \quad (3.5)$$

$$U_{к.в\%} = 0,125 \cdot 10.5 = 1.3 \%,$$

$$\Delta P'_{к.в} = \Delta P_{к.в} + K_{un} \cdot \Delta Q_{к.в}, \quad (3.6)$$

$$\Delta P'_{к.в} = 0 + 0.05 \cdot 525 = 26.3 \text{ кВт}.$$

$$\Delta P_{к.в} = 0.$$

- на стороне НН:

$$\Delta Q_{к.н1} = \Delta Q_{к.н2} = U_{к.н1,2\%} \cdot S_{ном\ m} / 100, \quad (3.7)$$

$$\Delta Q_{к.н1} = \Delta Q_{к.н2} = 18.375 \cdot 40000 / 100 = 7350 \text{ квар},$$

$$U_{к.н1\%} = U_{к.н2\%} = 1,75 \cdot u_{к.ВН-НН}, \quad (3.8)$$

$$U_{к.н1\%} = U_{к.н2\%} = 1,75 \cdot 10.5 = 18.375 \%,$$

$$\Delta P'_{к.н1} = \Delta P'_{к.н2} = \Delta P_{к.н1,2} + K_{un} \cdot \Delta Q_{к.н1,2}, \quad (3.9)$$

$$\Delta P'_{к.н1} = \Delta P'_{к.н2} = 341 + 0.05 \cdot 7350 = 708.5 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_{к.н1,2} = 2 \cdot \Delta P_{к.ВН-НН}, \quad (3.10)$$

$$\Delta P_{к.н1,2} = 2 \cdot 170 = 341 \text{ кВт}.$$

«Коэффициенты загрузки обмоток СТ» [11]:

$$K_{3.6} = \frac{S_B}{S_{ном,Т}}, \quad (3.11)$$

$$K_{3.6} = \frac{59175}{40000} = 1.48.$$

$$K_{3.н1} = K_{3.н2} = \frac{S_{H1,2}}{S_{ном,Т}}, \quad (3.12)$$

$$K_{3.н1} = K_{3.н2} = \frac{29587.5}{40000} = 0.74.$$

Суммарные приведенные потери активной мощности в СТ:

$$P_m^{\dot{}} = \Delta P_x^{\dot{}} + K_{3.6}^2 \cdot \Delta P_{к.6}^{\dot{}} + K_{3.н1}^2 \cdot \Delta P_{к.н1}^{\dot{}} + K_{3.н2}^2 \cdot \Delta P_{к.н2}^{\dot{}}, \quad (3.13)$$

$$P_m^{\dot{}} = 45.7 + 1.48^2 \cdot 26.3 + 0.74^2 \cdot 708.5 + 0.74^2 \cdot 708.5 = 878.4 \text{ кВт}.$$

Потери электрической энергии в силовых трансформаторах ГПП определяются путем суммирования потерь в режимах КЗ и ХХ на каждой ступени годового графика нагрузки (рисунок 3.1):

$$\Delta W_{nc} = \sum \Delta W_{xi} + \sum \Delta W_{ki} = \sum n_i \cdot \Delta P'_x \cdot T_i + \sum \left(\frac{1}{n_i} \cdot K_{3.6i}^2 \cdot \Delta P'_{к.6} \cdot T_i + \frac{1}{n_i} \cdot K_{3.н1i}^2 \cdot \Delta P'_{к.н1} \cdot T_i + \frac{1}{n_i} \cdot K_{3.н2i}^2 \cdot \Delta P'_{к.н2} \cdot T_i \right) \quad (3.14)$$

Итоговые данные по расчету потерь на всех ступенях годового графика нагрузки подстанции сводим в таблицу 3.1.

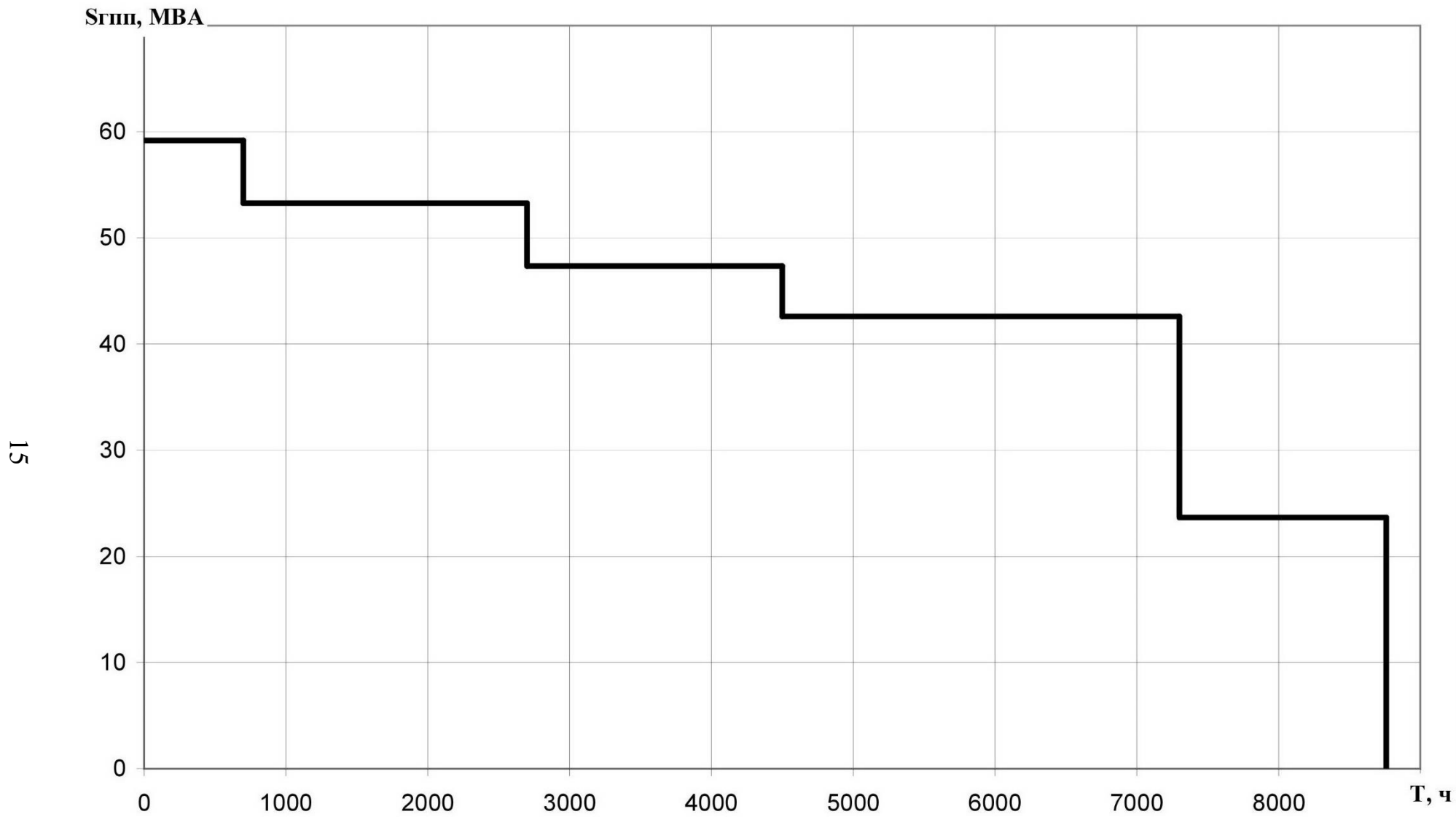


Рисунок 3.1 – Итоговый упорядоченный годовой график нагрузки ПС

Таблица 3.1 - Итоговые данные по расчету потерь на всех ступенях годового графика нагрузки подстанции

i	S_{Bi} , MBA	S_{H1i} , MBA	S_{H2i} , MBA	n_i	T_i , ч	ΔW_{xi} , кВт·ч	$K_{зBi}$	$K_{зH1i}$	$K_{зH2i}$	$\Delta W_{кBi}$, кВт·ч	$\Delta W_{кH1i}$, кВт·ч	$\Delta W_{кH2i}$, кВт·ч
1	59.175	29.588	29.588	2	700	63980	1.479	0.740	0.740	20107	135676	135676
2	53.258	26.629	26.629	2	2000	182800	1.331	0.666	0.666	46534	313994	313994
3	47.340	23.670	23.670	2	1800	164520	1.184	0.592	0.592	33091	223285	223285
4	42.606	21.303	21.303	2	2800	255920	1.065	0.533	0.533	41695	281339	281339
5	23.670	11.835	11.835	2	1460	133444	0.592	0.296	0.296	6710	45277	45277
$\Sigma \Delta W_{xi} = 800664$										$\Sigma \Delta W_{кBi} = 2147279$		

С учетом стоимости 1 кВт*ч электрической энергии определяем годовые затраты на оплату потерь электрической энергии:

$$I_{\Delta W_{ПТС}} = \Delta W_{nc} \cdot C_{э}, \quad (3.15)$$

$$I_{\Delta W_{ПТС}} = (2147279 + 800664) \cdot 2.426 = 7152 \text{ тыс. руб.}$$

Итоговые приведенные затраты на ГПП с учетом капитальных вложений, годовых издержек и стоимости потерь электроэнергии:

$$Z_{прив} = E_n \cdot K + I = E_n \cdot K + I_{э} + I_{\Delta W_{ПТС}}, \quad (3.16)$$

$$Z_{прив} = 0.25 \cdot 79058.61 + 7432 + 7152 = 34348 \text{ тыс. руб.}$$

где $K = 2 \cdot 39529.31 = 79058.61 \text{ тыс. руб.}$ – стоимость 2х СТ типа ТРДН-40000/110/6/6;

$$I_{э} = P_{сум} \cdot K = 0,094 \cdot 79058.61 = 7432 \text{ тыс. руб.}$$

3.2 Вариант с установкой на подстанции трансформаторов ТРДН - 63000/110/6/6

Выписываем технические характеристики выбранного для рассмотрения во втором варианте силового трансформатора: $\Delta P_{XX} = 50.5 \text{ кВт}$, $\Delta P_{K3} = 245.5 \text{ кВт}$, $i_{XX} = 0.51 \%$, $u_{K3} = 10.5 \%$, $K_T = 49412 \text{ тыс. руб.}$

«Приведенные потери активной мощности в СТ в режиме XX» [12]:

$$\Delta P_x' = \Delta P_x + K_{un} \cdot \Delta Q_x, \quad (3.17)$$

$$\Delta P_x' = 50.5 + 0.05 \cdot 321.3 = 60.7 \text{ кВт},$$

где

$$\Delta Q_x = I_{x\%} \cdot S_{ном.т} / 100, \quad (3.18)$$

$$\Delta Q_x = 0.51 \cdot 63000 / 100 = 321.3 \text{ квар},$$

$$K_{un} = 0,05 \text{ кВт} / \text{квар}.$$

«Приведенные потери активной мощности в СТ в режиме КЗ» [12]:

- на стороне ВН:

$$\Delta Q_{к.б} = U_{к.б\%} \cdot S_{ном.т} / 100, \quad (3.19)$$

$$\Delta Q_{к.б} = 1.3 \cdot 63000 / 100 = 826.9 \text{ квар},$$

$$U_{к.б\%} = 0,125 \cdot u_{к.ВН-НН}, \quad (3.20)$$

$$U_{к.б\%} = 0,125 \cdot 10.5 = 1.3 \%,$$

$$\Delta P'_{к.б} = \Delta P_{к.б} + K_{un} \cdot \Delta Q_{к.б}, \quad (3.21)$$

$$\Delta P'_{к.б} = 0 + 0.05 \cdot 826.9 = 41.3 \text{ кВт}.$$

$$\Delta P_{к.б} = 0.$$

- на стороне НН:

$$\Delta Q_{к.н1} = \Delta Q_{к.н2} = U_{к.н1,2\%} \cdot S_{ном.т} / 100, \quad (3.22)$$

$$\Delta Q_{к.н1} = \Delta Q_{к.н2} = 18.375 \cdot 63000 / 100 = 11576.3 \text{ квар},$$

$$U_{к.н1\%} = U_{к.н2\%} = 1,75 \cdot u_{к.ВН-НН}, \quad (3.23)$$

$$U_{к.н1\%} = U_{к.н2\%} = 1,75 \cdot 10.5 = 18.375 \%,$$

$$\Delta P'_{к.н1} = \Delta P'_{к.н2} = \Delta P_{к.н1,2} + K_{un} \cdot \Delta Q_{к.н1,2}, \quad (3.24)$$

$$\Delta P'_{к.н1} = \Delta P'_{к.н2} = 491 + 0.05 \cdot 11576.3 = 1069.8 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_{к.н1,2} = 2 \cdot \Delta P_{к.ВН-НН}, \quad (3.25)$$

$$\Delta P_{к.н1,2} = 2 \cdot 245.5 = 491 \text{ кВт}.$$

«Коэффициенты загрузки обмоток СТ» [12]:

$$K_{3.6} = \frac{S_B}{S_{ном,Т}}, \quad (3.26)$$

$$K_{3.6} = \frac{59175}{63000} = 0.94.$$

$$K_{3.н1} = K_{3.н2} = \frac{S_{H1,2}}{S_{ном,Т}}, \quad (3.27)$$

$$K_{3.н1} = K_{3.н2} = \frac{29587.5}{63000} = 0.47.$$

Суммарные приведенные потери активной мощности в СТ:

$$P_m^{\dot{}} = \Delta P_x^{\dot{}} + K_{3.6}^2 \cdot \Delta P_{к.6}^{\dot{}} + K_{3.н1}^2 \cdot \Delta P_{к.н1}^{\dot{}} + K_{3.н2}^2 \cdot \Delta P_{к.н2}^{\dot{}}, \quad (3.28)$$

$$P_m^{\dot{}} = 66.6 + 0.94^2 \cdot 41.3 + 0.47^2 \cdot 1069.8 + 0.47^2 \cdot 1069.8 = 575 \text{ кВт}.$$

Потери электрической энергии в силовых трансформаторах ГПП определяются путем суммирования потерь в режимах КЗ и ХХ на каждой ступени годового графика нагрузки:

$$\Delta W_{nc} = \sum \Delta W_{xi} + \sum \Delta W_{ki} = \sum n_i \cdot \Delta P'_x \cdot T_i + \sum \left(\frac{1}{n_i} \cdot K_{3.6i}^2 \cdot \Delta P'_{к.6} \cdot T_i + \frac{1}{n_i} \cdot K_{3.н1i}^2 \cdot \Delta P'_{к.н1} \cdot T_i + \frac{1}{n_i} \cdot K_{3.н2i}^2 \cdot \Delta P'_{к.н2} \cdot T_i \right) \quad (3.29)$$

Итоговые данные по расчету потерь на всех ступенях годового графика нагрузки подстанции сводим в таблицу 3.2.

С учетом стоимости 1 кВт*ч электрической энергии определяем годовые затраты на оплату потерь электрической энергии:

$$I_{\Delta W_{nc}} = \Delta W_{nc} \cdot C_{э}, \quad (3.30)$$

Таблица 3.2 - Итоговые данные по расчету потерь на всех ступенях годового графика нагрузки подстанции

i	S_{Bi} , MBA	S_{H1i} , MBA	S_{H2i} , MBA	n_i	T_i , ч	ΔW_{xi} , кВт·ч	$K_{зBi}$	$K_{зH1i}$	$K_{зH2i}$	$\Delta W_{кBi}$, кВт·ч	$\Delta W_{кH1i}$, кВт·ч	$\Delta W_{кH2i}$, кВт·ч
1	59.175	29.588	29.588	2	700	93191	0.939	0.470	0.470	12767	82587	82587
2	53.258	26.629	26.629	2	2000	266260	0.845	0.423	0.423	29545	191130	191130
3	47.340	23.670	23.670	2	1800	239634	0.751	0.376	0.376	21010	135914	135914
4	42.606	21.303	21.303	2	2800	372764	0.676	0.338	0.338	26473	171252	171252
5	23.670	11.835	11.835	2	1460	194370	0.376	0.188	0.188	4260	27560	27560
$\Sigma \Delta W_{xi} = 1166219$										$\Sigma \Delta W_{кBi} = 1310942$		

$$I_{\Delta WПC} = (1310942 + 1166219) \cdot 2.426 = 6010 \text{ тыс. руб.}$$

Итоговые приведенные затраты на ГПП с учетом капитальных вложений, годовых издержек и стоимости потерь электроэнергии:

$$Z_{\text{прив}} = E_n \cdot K + I = E_n \cdot K + I_{\text{э}} + I_{\Delta WПC}, \quad (3.31)$$

$$Z_{\text{прив}} = 0.25 \cdot 98823.27 + 9289 + 6010 = 40005 \text{ тыс. руб.}$$

где $K = 2 \cdot 49411.63 = 98823.27 \text{ тыс. руб.}$ – стоимость 2х СТ типа ТРДН-63000/110/6/6;

$$I_{\text{э}} = P_{\text{сум}} \cdot K = 0,094 \cdot 98823.27 = 9289 \text{ тыс. руб.}$$

Выводы по разделу: исходя из минимальной величины приведенных затрат на установку трансформаторов ГПП выбираем первый вариант с установкой двух силовых трансформаторов с расщепленной обмоткой низкого напряжения типа ТРДН- 40000/110/6/6.

4 Разработка предложений по модернизации электрической схемы подстанции

«Распределительное устройство – это электроустановка, служащая для приема и распределения электрической энергии одного класса напряжения. Такие электроустановки содержат набор коммутационных аппаратов, сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства релейной защиты и автоматики, средства учета и измерения.

Схемы электрических соединений электростанции (подстанции) – это совокупность основного оборудования, сборных шин, коммутационной и другой первичной аппаратуры со всеми связями между ними» [13-15].

Требования к электрической схеме сформулированы в ПУЭ (правила устройств электроустановок), ПТЭ (правила технической эксплуатации электрических станций и сетей), НТП ПС (нормах технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ), отраслевых норм и инструкций по вопросам развития электрических сетей и систем электроснабжения и в других руководящих документах и указаниях. Рассмотрим некоторые из основных требований, предъявляемых к проектированию подстанции.

При проектировании подстанций должно обеспечиваться:

- надежное и качественное электроснабжение потребителей;
- внедрение передовых проектных решений;
- высокий уровень технологических процессов и качества строительных и монтажных работ;
- соблюдение требований экологической безопасности и охраны окружающей среды;
- экономическая эффективность, обусловленная стремлением к снижению капитальных вложений за счет применения оптимизированных проектных решений, сокращением площадей, занимаемых объектами электросетевого хозяйства, и снижением эксплуатационных затрат;

- передовые методы эксплуатации, безопасные и удобные условия труда эксплуатационного персонала

- оптимальная загрузка (авто-) трансформаторного оборудования подстанции, рассчитанной на момент ввода и перспективу.

- возможности расширения подстанции в перспективе.

Выводы по разделу: с целью надежного и бесперебойного энергоснабжения заводов и производств из схем электроснабжения требуется исключить системы «отделитель – короткозамыкатель», поэтому на стороне ВН ГПП принимается схема с двумя блоками с применением высоковольтных выключателей.

5 Определение значений токов КЗ на сторонах 110 и 6 кВ ГПП

Чтобы проверить проводники и аппараты на динамическую и термическую стойкость, а также произвести выбор выключателей по коммутационной способности необходимо определить расчетные токи короткого замыкания. Для выбора и проверки параметров оборудования обычно производят расчет трехфазного тока КЗ и используют его для сравнения с паспортными данными электрооборудования.

«Расчетные условия короткого замыкания включают в себя:

- расчетную схему электроустановки;
- расчетную точку короткого замыкания;
- расчетный вид короткого замыкания;
- расчетную продолжительность короткого замыкания.

В качестве расчетной схемы, как правило, принимается схема со всеми включенными в работу элементами электроустановки. В отдельных случаях в качестве расчетной может оказаться схема, в которой тот или иной элемент отключен.

Расчетное место короткого замыкания находится в схеме непосредственно с той или другой стороны от выбираемого электрооборудования в зависимости от того, какой случай короткого замыкания обуславливает большее значение тока в токоведущей части электрооборудования.

Расчетный вид короткого замыкания принимается в зависимости от степени воздействия тока короткого замыкания на электрооборудование. Расчетным видом короткого замыкания при проверке на термическую стойкость проводников и электрических аппаратов электроустановок напряжением свыше 1 вплоть до 35 кВ является трехфазное короткое замыкание, в электроустановках напряжением 110 кВ и выше – трех-или однофазное короткое замыкание, а в электроустановках генераторного напряжения электростанций – трехфазное или двухфазное короткое

замыкание в зависимости от того, какое из них приводит к большему термическому воздействию.

Расчетная продолжительность короткого замыкания принимается в зависимости от назначения расчета. Электродинамическая стойкость проводников и электрических аппаратов проверяется обычно по условиям воздействия электродинамических сил от ударного тока короткого замыкания ($t \approx 0,01$ с). Расчетную продолжительность короткого замыкания при проверке проводников и электрических аппаратов на термическую стойкость при коротком замыкании определяют сложением времени действия основной релейной защиты, в зону действия которой входят проверяемые проводники и аппараты, и полного времени отключения ближайшего к месту короткого замыкания выключателя» [16-18].

Для определения токов КЗ составляем две схемы – расчетную схему (изображена на рисунке 5.1) и ее схему замещения (изображена на рисунке 5.2).

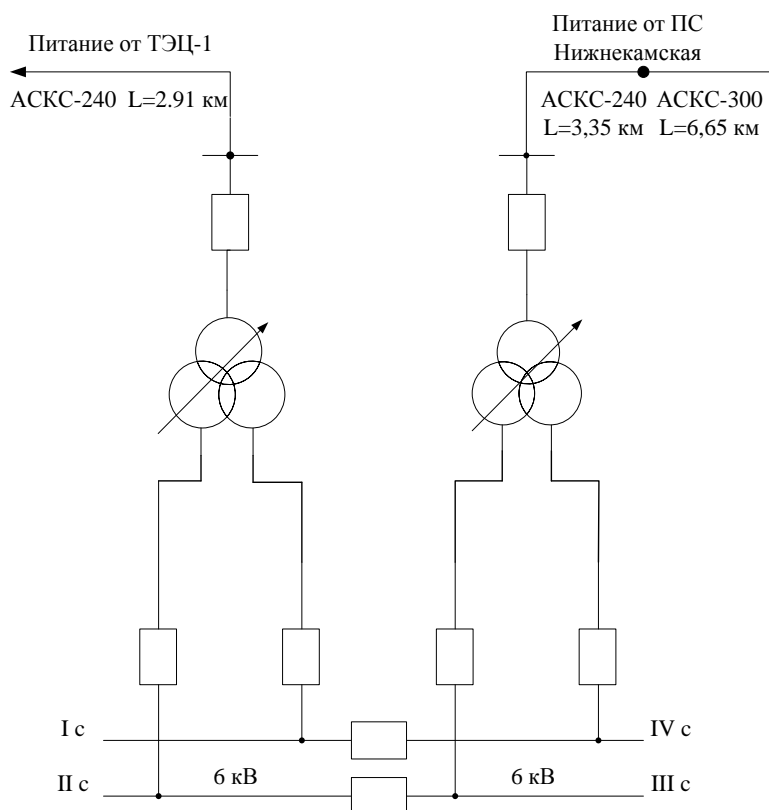


Рисунок 5.1 – Расчётная схема

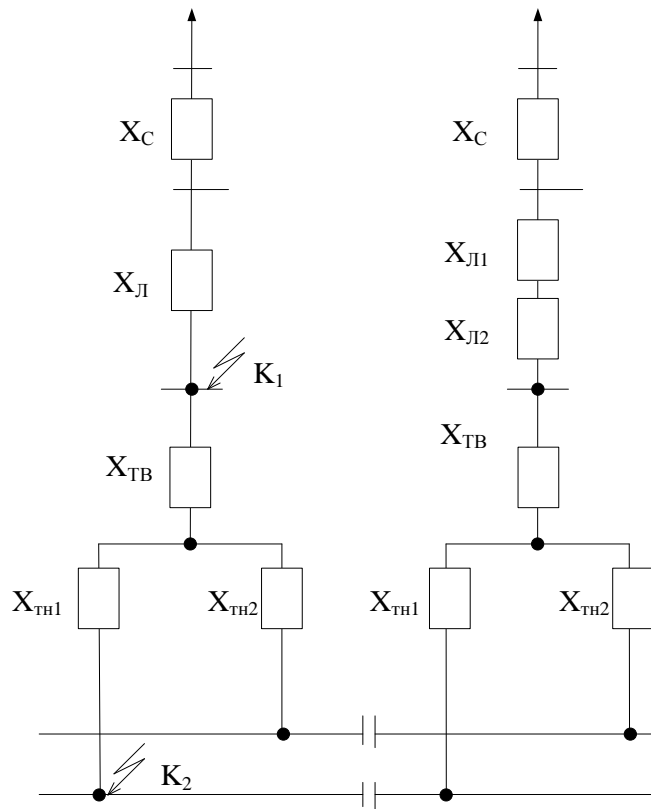


Рисунок 5.2 – Схема замещения

Исходными параметрами оборудования, необходимыми для определения сопротивлений схемы замещения являются:

Данные о мощности короткого замыкания на шинах ЭЭС и напряжение питания: $U_{cp} = 115$ кВ; $S_{\sigma} = 1000$ МВА; $S_{\kappa} = 3750$ МВА.

Протяженность и удельное сопротивление питающей высоковольтной линии: $x_{y\delta} = 0.405$ Ом/км; $L = 3$ км.

Мощность и напряжение КЗ силовых трансформаторов, принятых к установке на ГПП: $S_{\mu} = 40$ МВА; $U_{\kappa} = 10.5$ %.

Найдем сопротивление системы:

$$x_{c.\bar{\sigma}} = \frac{S_{\sigma}}{S_{\kappa}}; \quad (5.1)$$

$$x_{c.\bar{\sigma}} = \frac{1000}{3750} = 0.267.$$

Сопротивление высоковольтной ЛЭП от подстанции ЭЭС до ГПП предприятия:

$$x_{БЛ.б} = \frac{x_{уд}}{2} \cdot L \cdot \frac{S_{б}}{U_{сн}^2}; \quad (5.2)$$

$$x_{БЛ.б} = 0.405 \cdot 3 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0.092.$$

Сопротивление СТ типа ТРДН-40000/110/6/6:

$$x_{Т.В.б} = \frac{U_{к.в}, \%}{100} \cdot \frac{S_{б}}{S_{н}}; \quad (5.3)$$

$$x_{Т.В.б} = \frac{1.3125}{100} \cdot \frac{1000}{40} = 0.328.$$

$$x_{Т.Н.б} = \frac{U_{к.н}, \%}{100} \cdot \frac{S_{б}}{S_{н}}; \quad (5.4)$$

$$x_{Т.Н.б} = \frac{18.375}{100} \cdot \frac{1000}{40} = 4.594.$$

5.1 Определение токов КЗ в первой точке

Суммарное сопротивление до точки КЗ:

$$x_{рез1} = x_{с.б} + x_{БЛ.б}; \quad (5.5)$$

$$x_{рез1} = 0.267 + 0.092 = 0.359.$$

Базисный ток:

$$I_{б.к1} = \frac{S_{б}}{\sqrt{3} \cdot U_{сн}}; \quad (5.6)$$

$$I_{\sigma.k1} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5.02 \text{ кА.}$$

Начальное действующее значение тока трехфазного КЗ:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{E_{\sigma}'}{x_{pez1}} \cdot I_{\sigma}; \quad (5.7)$$

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{1}{0.359} \cdot 5.02 = 14.003 \text{ кА.}$$

Ударный ток КЗ:

$$i_{y\delta.k1} = \sqrt{2} \cdot I_{n,o}^{(3)} \cdot \kappa_{y\delta}; \quad (5.8)$$

$$i_{y\delta.k1} = \sqrt{2} \cdot 14.003 \cdot 1.8 = 35.645 \text{ кА.}$$

5.2 Определение токов КЗ во второй точке

Суммарное сопротивление до точки КЗ:

$$x_{pez2} = x_{pez1} + x_{T.B.\sigma} + x_{T.H.\sigma}; \quad (5.9)$$

$$x_{pez2} = 0.359 + 0.328 + 4.594 = 5.28.$$

Базисный ток:

$$I_{\sigma.k2} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{сн}}; \quad (5.10)$$

$$I_{\sigma.k2} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6.3} = 91.643 \text{ кА.}$$

Начальное действующее значение тока трехфазного КЗ:

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{E_{\delta}'}{x_{рез2}} \cdot I_{\delta.\kappa 2}; \quad (5.11)$$

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{1}{5.28} \cdot 91.643 = 17.355 \text{ кА.}$$

Ударный ток КЗ:

$$i_{уд.\kappa 2} = \sqrt{2} \cdot I_{н.о}^{(3)} \cdot \kappa_{уд}; \quad (5.12)$$

$$i_{уд.\kappa 2} = \sqrt{2} \cdot 17.355 \cdot 1.85 = 45.406 \text{ кА.}$$

Выводы по разделу: результаты расчетов токов КЗ сводим в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты расчетов токов КЗ

Точка короткого замыкания	$U_{сн}$, кВ	$\kappa_{уд}$	$I_{\kappa}^{(3)}$, кА	$i_{уд}$, кА
1	115	1.8	14	35.6
2	6.3	1.85	17.4	45.4

6 Выбор электрических аппаратов для установки на ГПП предприятия

6.1 Выбор электрооборудования ПС на напряжение 110 кВ

6.1.1 Высоковольтные выключатели

К установке на стороне 110 кВ ГПП предварительно принимаем элегазовые выключатели производства АВВ типа LTB 145 D1/B.

Выбранный высоковольтный выключатель должен удовлетворять следующим условиям [19-21]:

- соответствие номинального напряжения аппарата напряжению в месте установки:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (6.1)$$

$$110 \text{ кВ} \leq 110 \text{ кВ};$$

- максимальное значение рабочего тока не должно превышать номинального тока выключателя:

$$I_{max} < I_n, \quad (6.2)$$

$$281 \text{ А} < 1600 \text{ А},$$

где

$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{S_{н.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_{сн}}, \quad (6.3)$$

$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 281 \text{ А};$$

- способность к отключению возможных значений токов КЗ:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} \leq I_{откл.н}, \quad (6.4)$$

$$14 \text{ кА} \leq 40 \text{ кА},$$

$$i_{a,\tau} \leq i_{a.н.}, \quad (6.5)$$

$$7.6 \text{ кА} \leq 19.8 \text{ кА},$$

где

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{\kappa 1}^{(3)} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}}, \quad (6.6)$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 14 \cdot e^{\frac{-0.048}{0.05}} = 7.6 \text{ кА},$$

$$i_{a.н.} = \left(\sqrt{2} \cdot \beta_n / 100 \right) \cdot I_{откл.н}, \quad (6.7)$$

$$i_{a.н.} = \left(\sqrt{2} \cdot \frac{35}{100} \right) \cdot 40 = 19.8 \text{ кА},$$

- устойчивость к ударным воздействиям токов КЗ:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} \leq I_{нр.с}, \quad (6.8)$$

$$14 \text{ кА} \leq 40 \text{ кА};$$

$$i_{yд} \leq i_{нр.с}, \quad (6.9)$$

$$35.6 \text{ кА} \leq 100 \text{ кА};$$

- устойчивость к термическому воздействию тока короткого замыкания на протяжении всей его длительности:

$$B_{\kappa} \leq I_{терм}^2 \cdot t_{откл}, \quad (6.10)$$

$$29 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 156.8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Выбранный высоковольтный выключатель ЛТВ 145 D1/B удовлетворяет условиям и пригоден к установке на ГПП.

6.1.2 Разъединители

К установке на стороне 110 кВ ГПП предварительно принимаем разъединители ABB SGF-123.

Выбранный разъединитель должен удовлетворять следующим условиям:

- соответствие номинального напряжения аппарата напряжению в месте установки:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (6.11)$$

$$110 \text{ кВ} \leq 110 \text{ кВ};$$

- максимальное значение рабочего тока не должно превышать номинального тока разъединителя:

$$I_{max} < I_n, \quad (6.12)$$

$$281 \text{ А} < 1600 \text{ А},$$

- устойчивость к ударным воздействиям токов КЗ:

$$i_{уд} \leq i_{нр.с}, \quad (6.13)$$

$$35.6 \text{ кА} \leq 90 \text{ кА};$$

- устойчивость к термическому воздействию тока короткого замыкания на протяжении всей его длительности:

$$B_k \leq I_{нр.с}^2 \cdot t_{нр.с}, \quad (6.14)$$

$$29 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 156.8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Выбранный разъединитель типа АВВ SGF-123 удовлетворяет условиям и пригоден к установке на ГПП.

6.1.3 Трансформаторы тока

К установке на стороне 110 кВ ГПП предварительно принимаем трансформаторы тока АВВ TGn-145.

Выбранный трансформатор должен удовлетворять следующим условиям:

- соответствие номинального напряжения аппарата напряжению в месте установки:

$$U_{\text{сети}} \leq U_n, \quad (6.15)$$

$$110 \text{ кВ} \leq 110 \text{ кВ};$$

- максимальное значение рабочего тока не должно превышать номинального тока ТТ:

$$I_{\text{max}} \leq I_{\text{н.ТТ}}, \quad (6.16)$$

$$281 \text{ А} \leq 400 \text{ А};$$

- устойчивость к ударным воздействиям токов КЗ:

$$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{эдин.ст}}, \quad (6.17)$$

$$35.6 \text{ кА} \leq 100 \text{ кА};$$

- устойчивость к термическому воздействию тока короткого замыкания на протяжении всей его длительности:

$$B_k \leq K_T^2 \cdot I_{1ном}^2 \cdot t_{откл} = I_T^2 \cdot t_{откл},, \quad (6.18)$$

$$29 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 245 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

- суммарное сопротивление подключенных к ТТ устройств не должно превышать установленного производителем ТТ значения для выбранного класса точности:

$$Z_2 \leq Z_{2ном}, \quad (6.19)$$

где $Z_2 \approx R_2$

$$R_2 = R_{приб} + R_{пр} + R_k, \quad (6.20)$$

К ТТ подключаются счетчик активной электроэнергии СЭТ-4ТМ03М и терминал релейной защиты ШЭ2607 с суммарной мощностью нагрузки 19 ВА. Найдем значение активного сопротивления:

$$R_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2}, \quad (6.21)$$

$$R_{приб} = \frac{19}{5^2} = 0.76 \text{ Ом}.$$

Тогда максимальное возможное сопротивление соединительных проводов из условия не превышения максимального значения сопротивления:

$$R_{пр} = Z_{2ном} - R_{приб} - R_k,$$

$$R_{пр} = 1.8 - 0.76 - 0.1 = 0.94 \text{ Ом}.$$

Сечение медного проводника:

$$s = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{np}}, \quad (6.22)$$

$$s = \frac{0.0175 \cdot 65}{0.94} = 1.21 \text{ мм}^2.$$

По условию механической прочности выбираем сечение провода с медными жилами 2.5 мм^2 .

Выбранный трансформатор тока типа АВВ ТGn-145 удовлетворяет условиям и пригоден к установке на ГПП.

6.1.4 Трансформаторы напряжения

К установке на стороне 110 кВ ГПП предварительно принимаем трансформаторы напряжения СРВ123.

Выбранный трансформатор напряжения должен удовлетворять следующим условиям:

- соответствие номинального напряжения аппарата напряжению в месте установки:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (6.23)$$

$$110 \text{ кВ} \leq 110 \text{ кВ};$$

- требуемый класс точности;

- суммарная мощность подключенных к ТН устройств не должна превышать установленного производителем ТН значения для выбранного класса точности:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{ном}, \quad (6.24)$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(\Sigma S_{приб} \cos \varphi)^2 + (\Sigma S_{приб} \sin \varphi)^2} = \sqrt{P_{приб}^2 + Q_{приб}^2}. \quad (6.25)$$

К ТН подключаются счетчики активной энергии СЭТ-4ТМ03М и вольтметр ЩП-120П с суммарной мощностью нагрузки 10 ВА.

$$10 \text{ ВА} \leq 400 \text{ ВА}.$$

Выбранный трансформатор напряжения СРВ123 удовлетворяет условиям и пригоден к установке на ГПП.

6.1.5 Гибкие шины

Гибкие шины на стороне 110 кВ подстанции выполняются при помощи сталеалюминиевых проводов.

Оптимальное сечение проводника по экономической плотности тока:

$$s = \frac{I_{\text{раб.ном}}}{j_э}; \quad (6.26)$$

$$s = \frac{201}{1} = 201 \text{ мм}^2.$$

Выбираем провод АС-240/32 мм² с I_{доп}= 605 А.

Критическая напряженность электрического поля:

$$E_0 = 30.3 \cdot m \cdot \left(1 + \frac{0.299}{\sqrt{r_0}} \right); \quad (6.27)$$

$$E_0 = 30.3 \cdot 0.82 \cdot \left(1 + \frac{0.299}{\sqrt{1.08}} \right) = 32 \text{ кВ/м.}$$

Напряженность электрического поля вблизи проводника:

$$E = \frac{0.354 \cdot U_n}{r_o \cdot \lg \frac{1.26 \cdot D}{r_o}}; \quad (6.28)$$

$$E = \frac{0.354 \cdot 115}{1.08 \cdot \lg \frac{1.26 \cdot 300}{1.08}} = 14.8 \text{ кВ/м.}$$

Условие проверки на отсутствие короны:

$$1.07E \leq 0.9E_o; \quad (6.29)$$
$$15.9 \text{ кВ/м} < 28.8 \text{ кВ/м.}$$

Выбранный провод АС-240/32 удовлетворят условиям и пригоден к установке на ГПП.

6.1.6 Ограничители перенапряжений

К установке на стороне 110 кВ ГПП принимаем ограничители перенапряжений АВВ РЕХЛИМ R.

6.2 Выбор электрооборудования ПС на напряжение 6 кВ

На подстанциях химического холдинга продолжают работы по замене оборудования распределительных устройств 6 кВ и внедрению быстродействующих устройств автоматического ввода резервного питания, что в совокупности позволит значительно повысить надежность электроснабжения производств предприятия.

По опыту внедрения принимаем к установке на подстанции ячейки распределительного устройства 6 кВ типа КРУ-СЭЩ-70.

6.2.1 Высоковольтные выключатели

К установке на стороне 6 кВ ГПП предварительно принимаем вакуумные выключатели ВВУ-СЭЦ-10/3150.

Выбранный высоковольтный выключатель должен удовлетворять следующим условиям:

- соответствие номинального напряжения аппарата напряжению в месте установки:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (6.30)$$

$$6 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- максимальное значение рабочего тока не должно превышать номинального тока выключателя:

$$I_{max} < I_n, \quad (6.31)$$

$$2566 \text{ А} < 3150 \text{ А},$$

где

$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{S_{н.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_{сн}}, \quad (6.32)$$

$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 6.3 \cdot 2} = 2566 \text{ А};$$

- способность к отключению возможных значений токов КЗ:

$$I_{к1}^{(3)} \leq I_{откл.н}, \quad (6.33)$$

$$17.4 \text{ кА} \leq 40 \text{ кА},$$

$$i_{a,\tau} \leq i_{a.н.}, \quad (6.34)$$

$$19 \text{ кА} \leq 22.6 \text{ кА},$$

где

$$i_{a.\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{\kappa 1}^{(3)} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}}, \quad (6.35)$$

$$i_{a.\tau} = \sqrt{2} \cdot 17.4 \cdot e^{\frac{-0.041}{0.16}} = 19 \text{ кА},$$

$$i_{a.n.} = \left(\sqrt{2} \cdot \beta_n / 100 \right) \cdot I_{откл.n.}, \quad (6.36)$$

$$i_{a.n.} = \left(\sqrt{2} \cdot \frac{40}{100} \right) \cdot 40 = 22.6 \text{ кА},$$

- устойчивость к ударным воздействиям токов КЗ:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} \leq I_{нр.с}, \quad (6.37)$$

$$17.4 \text{ кА} \leq 40 \text{ кА};$$

$$i_{уд} \leq i_{нр.с}, \quad (6.38)$$

$$45.4 \text{ кА} \leq 100 \text{ кА};$$

- устойчивость к термическому воздействию тока короткого замыкания на протяжении всей его длительности:

$$B_{\kappa} \leq I_{терм}^2 \cdot t_{откл}, \quad (6.39)$$

$$76 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 145.6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Выбранный высоковольтный выключатель ВВУ-СЭЩ-10/3150 удовлетворяет условиям и пригоден к установке на ГПП.

В ячейках отходящих линий устанавливаем высоковольтные выключатели ВВУ-СЭЩ-П с номинальным током 1600 и 2000 А.

6.2.2 Трансформаторы тока

К установке на стороне 6 кВ ГПП предварительно принимаем трансформаторы тока ТШЛ-СЭЦ-10-3000/5.

Выбранный трансформатор должен удовлетворять следующим условиям:

- соответствие номинального напряжения аппарата напряжению в месте установки:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (6.40)$$

$$6 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- максимальное значение рабочего тока не должно превышать номинального тока ТТ:

$$I_{\max} \leq I_{н.ТТ}, \quad (6.41)$$

$$2566 \text{ А} \leq 3000 \text{ А};$$

- устойчивость к ударным воздействиям токов КЗ:

$$i_{уд} \leq i_{э\text{лдин.ст}}, \quad (6.42)$$

$$45.4 \text{ кА} \leq 100 \text{ кА};$$

- устойчивость к термическому воздействию тока короткого замыкания на протяжении всей его длительности:

$$B_k \leq K_T^2 \cdot I_{\text{ном.}}^2 \cdot t_{\text{откл}} = I_T^2 \cdot t_{\text{откл}}, \quad (6.43)$$

$$76 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 153 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

- суммарное сопротивление подключенных к ТТ устройств не должно превышать установленного производителем ТТ значения для выбранного класса точности:

$$Z_2 \leq Z_{2ном} , \quad (6.44)$$

где $Z_2 \approx R_2$

$$R_2 = R_{приб} + R_{пр} + R_{к} , \quad (6.45)$$

К ТТ подключаются счетчик активной и реактивной электроэнергии, амперметр и терминал защиты фирмы ЭКРА с суммарной мощностью нагрузки 22 ВА. Найдем значение активного сопротивления:

$$R_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2} , \quad (6.46)$$

$$R_{приб} = \frac{22}{5^2} = 0.88 \text{ Ом} .$$

Тогда максимальное возможное сопротивление соединительных проводов из условия не превышения максимального значения сопротивления:

$$R_{пр} = Z_{2ном} - R_{приб} - R_{к} ,$$

$$R_{пр} = 1.2 - 0.88 - 0.1 = 0.22 \text{ Ом} .$$

Сечение медного проводника:

$$s = \frac{\rho \cdot l_{пр}}{R_{пр}} , \quad (6.47)$$

$$s = \frac{0.0175 \cdot 40}{0.22} = 3.182 \text{ мм}^2.$$

Выбираем сечение провода с медными жилами 4 мм².

Выбранный трансформатор тока типа ТШЛ-СЭЩ-10-3000/5 удовлетворяет условиям и пригоден к установке на ГПП.

6.2.3 Трансформаторы напряжения

К установке на стороне 6 кВ ГПП предварительно принимаем трансформаторы напряжения НАЛИ-СЭЩ-6.

Выбранный трансформатор напряжения должен удовлетворять следующим условиям:

- соответствие номинального напряжения аппарата напряжению в месте установки:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (6.48)$$

$$6 \text{ кВ} \leq 6 \text{ кВ};$$

- требуемый класс точности;

- суммарная мощность подключенных к ТН устройств не должна превышать установленного производителем ТН значения для выбранного класса точности:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{ном}, \quad (6.49)$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(\Sigma S_{приб} \cos \varphi)^2 + (\Sigma S_{приб} \sin \varphi)^2} = \sqrt{P_{приб}^2 + Q_{приб}^2}. \quad (6.50)$$

К ТН подключаются счетчики активной и реактивной электроэнергии типа СЭТ-4ТМ03М и вольтметр с суммарной мощностью нагрузки 24 ВА.

$$24 \text{ ВА} \leq 400 \text{ ВА}.$$

Выбранный трансформатор напряжения НАЛИ-СЭЦ-6 удовлетворяет условиям и пригоден к установке на ГПП.

6.2.4 Жесткие шины

Оптимальное сечение проводника по экономической плотности тока:

$$s = \frac{I_{\text{раб.ном}}}{j_{\text{э}}}; \quad (6.51)$$

$$s = \frac{1833}{1} = 1833 \text{ мм}^2.$$

Принимаем две параллельно проложенные шины с геометрическими размерами 100x10 мм, $I_{\text{доп}} = 2860 \text{ А}$.

Минимально допустимое сечение шины исходя из условия термической устойчивости:

$$s_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_K} \cdot 10^3}{C_T}, \quad (6.52)$$

$$s_{\text{min}} = \frac{\sqrt{76} \cdot 10^3}{66} = 132.1 \text{ мм}^2.$$

Силы, оказывающие влияние на проводник при трехфазном КЗ:

$$F_{\text{max}}^{(3)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7}}{a} \cdot l \cdot i_{\text{уд}}^2 \cdot K_{\phi} \cdot K_p, \quad (6.53)$$

$$F_{\text{max}}^{(3)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7}}{1} \cdot 1 \cdot 22700^2 \cdot 1 \cdot 1 = 89.3 \text{ Н}.$$

Момент сопротивления поперечного сечения шины:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}, \quad (6.54)$$

$$W = \frac{0.01 \cdot 0.1^2}{6} = 1.7 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

Максимальное напряжение в материале проводника:

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max}^{(3)} \cdot l}{\lambda \cdot W}, \quad (6.55)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{89.3 \cdot 1}{8 \cdot 1.7 \cdot 10^{-5}} \cdot 10^{-6} = 0.7 \text{ МПа}.$$

Проверка на электродинамическую стойкость:

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{доп}}, \quad (6.56)$$

$$0.7 \text{ МПа} \leq 247.1 \text{ МПа},$$

где

$$\sigma_{\text{доп}} = 0.7 \cdot \sigma_p, \quad (6.57)$$

$$\sigma_{\text{доп}} = 0.7 \cdot 353 = 247.1 \text{ МПа}.$$

Момент инерции поперечного сечения шины:

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12}, \quad (6.58)$$

$$J = \frac{0.01 \cdot 0.1^3}{12} = 8.3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4.$$

Частота собственных колебаний шины:

$$f_0 = \frac{r_1^2}{2 \cdot \pi \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m}}; \quad (6.59)$$

$$f_0 = \frac{3.14^2}{2 \cdot \pi \cdot 1^2} \cdot \sqrt{\frac{7 \cdot 10^{10} \cdot 8.3 \cdot 10^{-7}}{2.5}} = 239.8 \text{ Гц}.$$

Т.к. частота собственных колебаний шины превышает значение в 200 Гц, то условий для возникновения механического резонанса не возникает.

6.2.5 Опорные изоляторы

Опорные изоляторы на подстанции применяются для крепления шин. Выбираем изоляторы ИОР-6-250 У2.

Выбранный опорный должен удовлетворять следующим условиям:

- соответствие номинального напряжения элемента напряжению в месте установки:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (6.60)$$

$$6 \text{ кВ} \leq 6 \text{ кВ};$$

- не превышению максимальной нагрузки на головку изолятора:

$$F_{\max}^{(3)} \leq F_{доп}, \quad (6.61)$$

$$89.3 \text{ Н} < 808 \text{ Н},$$

где

$$F_{доп} = 0.6 \cdot F_{разруш} \cdot \frac{H_u}{H}, \quad (6.62)$$

$$F_{доп} = 0.6 \cdot 2500 \cdot \frac{0.07}{0.13} = 808 \text{ Н}.$$

где

$$H = H_u + b + \frac{h}{2}, \quad (6.63)$$

$$H = 0.07 + 0.01 + \frac{0.1}{2} = 0.13.$$

Выбранный опорный изолятор ИОР-6-250 У2 удовлетворяет условиям и пригоден к установке на ГПП.

6.2.6 Выбор проходных изоляторов

Выбираем проходные изоляторы ИП-10/5000-42,5.

Выбранный проходной изолятор должен удовлетворять следующим условиям:

- соответствие номинального напряжения элемента напряжению в месте установки:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (6.64)$$

$$6 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- максимальное значение рабочего тока не должно превышать номинального тока изолятора:

$$I_{max} < I_n, \quad (6.65)$$

$$2566 \text{ А} < 5000 \text{ А};$$

- не превышению максимальной нагрузки на головку изолятора:

$$F_{расч} \leq 0.6 \cdot F_{разр}, \quad (6.66)$$

$$25.8 \text{ Н} < 25500 \text{ Н},$$

где

$$F_{расч} = 0.5 \cdot \frac{i_{уд}^2}{a} \cdot l_{из} \cdot 10^{-7}, \quad (6.67)$$

$$F_{расч} = 0.5 \cdot \frac{22700^2}{1} \cdot 1 \cdot 10^{-7} = 25.8.$$

Выбранный проходной изолятор ИП-10/5000-42,5 удовлетворяет условиям и пригоден к установке на ГПП.

Выводы по разделу: произведен выбор и проверка электрических аппаратов для установки на ГПП предприятия.

7 Расчет уставок микропроцессорной защиты трансформаторов подстанции

На подстанции устанавливаем шкафы релейной защиты ШЭ2607 с терминалами БЭ2704, выпускаемыми НПП «ЭКРА».

7.1 Выбор уставок терминала РЗ БЭ2704

7.1.1 Находим базисный ток:

$$I_{\text{баз.ВН}} = \frac{I_{\text{ном.ВН}} \cdot k_{\text{сх}}}{K_{\text{ТТ}}}, \quad (7.1)$$

$$I_{\text{баз.ВН}} = \frac{200,82 \cdot 1}{600 / 5} = 1,673 \text{ А};$$

$$I_{\text{баз.НН1(НН2)}} = \frac{I_{\text{ном.НН}} \cdot k_{\text{сх}}}{K_{\text{ТТ}}}, \quad (7.2)$$

$$I_{\text{баз.НН1(НН2)}} = \frac{1833 \cdot 1}{3000 / 5} = 3,055 \text{ А}.$$

7.1.2 Расчет ДЗТ

Минимальный ток срабатывания ДЗТ на горизонтальном участке характеристики при отсутствии торможения:

$$I_{\text{ДО.расч}^*} = K_{\text{отс}} \cdot I_{\text{нб.расч}^*}, \quad (7.3)$$

где $K_{\text{отс}} = 1,3$; $I_{\text{нб.расч}^*} = K_{\text{пер}} \cdot K_{\text{одн}} \cdot \varepsilon + \Delta U_{\text{РПН}} + \Delta f_{\text{выр}}^f$.

где $K_{\text{пер}} = 1,5$; $K_{\text{одн}} = 1$; $\varepsilon = 0,1$; $\Delta f_{\text{выр}}^f = 0,02$;

$$\Delta U_{\text{РПН}} = \frac{|U_{\text{РПНmax}} - U_{\text{РПНmin}}|}{2 \cdot 100\%}, \quad (7.4)$$

$$\Delta U_{\text{РПН}} = \frac{|9 - (-9)|}{2 \cdot 100\%} = 0,09.$$

$$I_{\text{ДО.расч}^*} = 1,3 \cdot (1,5 \cdot 1 \cdot 0,1 + 0,09 + 0,02) = 0,338 \approx 0,34 \text{ о.е.}$$

Ток торможения блокировки ДЗТ

Значение тока торможения блокировки:

$$I_{Т.БЛ.} = K_{отс} \cdot K_{пред.нагр.} \cdot \frac{I_{ном.нагр.}}{I_{баз.стор.}} \cdot \frac{k_{сх.ТТ.ВН.}}{K_{ТТ.ВН.}} \text{ о.е.} \quad (7.5)$$

где $K_{отс} = 1,1$; $K_{пред.нагр.} = 2,0$; $K_{ТТ.ВН.} = 600 / 5$; $k_{сх.ТТ.ВН.} = 1$;

$$I_{Т.БЛ.} = 1,1 \cdot 2 \cdot \frac{200,82}{1,673} \cdot \frac{1}{600 / 5} = 2,2 \text{ о.е.}$$

Коэффициент торможения ДЗТ

Определим максимальный ток, равный току внешнего металлического короткого замыкания, приведенного к базисному току:

$$I_{скв.} = \frac{I_{КЗ.Ме.стор.}}{I_{баз.стор.}} \cdot \frac{k_{сх.ТТ.стор.}}{K_{ТТ.стор.}}, \quad (7.6)$$

$$I_{скв.} = \frac{2132}{1,673} \cdot \frac{1}{600 / 5} = 10,62 \text{ о.е.}$$

Значение расчетного тока небаланса:

$$I_{Д} = (K_{пер} \cdot K_{одн} \cdot \varepsilon + \Delta U_{РПН} + \Delta f_{выр}) \cdot I_{скв.}, \quad (7.7)$$

$$I_{Д} = 0,26 \cdot 10,62 = 2,761 \text{ о.е.}$$

Значение расчетного тормозного тока:

$$I_{Т} = \sqrt{I_{скв.} \cdot (I_{скв.} - I_{Д}) \cdot \cos \beta}, \quad (7.8)$$

$$I_{Т} = \sqrt{10,62 \cdot (10,62 - 2,761) \cdot \cos 15^\circ} = 8,97 \text{ о.е.}$$

где $\beta = 15^\circ$.

Коэффициент торможения определяем, как:

$$K_T = \frac{K_{отс} \cdot I_D - I_{ДО}}{I_T - I_{ТО}}, \quad (7.9)$$

$$K_T = \frac{1,1 \cdot 2,761 - 0,34}{8,97 - 1} = 0,338 \approx 0,35 \text{ о.е.}$$

Ток дифференциальной отсечки

Выбираем из 2х значений:

– по условию отстройки от броска тока намагничивания СТ

$$I_{отс} \geq 8,97 \text{ о. е.};$$

– по условию отстройки от максимального первичного тока небаланса:

$$I_D = 1,5 \cdot I_{скв} \cdot (K_{пер} \cdot K_{одн} \cdot \varepsilon + \Delta U_{РПН} + \Delta f_{выр}), \quad (7.10)$$

$$I_D = 1,5 \cdot 10,62 \cdot 0,41 = 6,5 \text{ о.е.}$$

Принимаем большее найденных значений $I_{отс} \geq 8,97 \text{ о. е.}$

7.1.3 Защита от перегрузки СТ

«Первичный ток срабатывания ИО максимального фазного тока отстраивают от номинального тока обмотки защищаемого трансформатора» [15]:

$$I_{ЗП.ВН} = \frac{I_{ном.ВН}}{K_{ТТ.ВН}} \cdot \frac{K_{отс}}{K_B}; \quad (7.11)$$

где $K_{отс} = 1,05$; $K_B = 0,9$;

$$I_{ЗП.ВН} = \frac{200,82}{600 / 5} \cdot \frac{1,05}{0,9} = 1,95 \text{ А.}$$

Выдержка времени защиты от перегрузки принимается равной $t_{сз.ЗП} = 9 \text{ с}$.

7.1.4 Максимальная токовая защита с комбинированным пуском по напряжению

1я ступень МТЗ.

«Первичный ток срабатывания МТЗ без пуска по напряжению должен быть отстроен от максимального тока нагрузки с учетом самозапуска двигательной нагрузки» [15]:

$$I_{сз.В6} = K_{отс} \cdot 0,7 \cdot I_{ном.НН} / K_B \cdot K_{ТТ.НН1(НН2)}, \quad (7.12)$$

$$I_{сз.В6} = 1,2 \cdot 0,7 \cdot 1833 / 0,95 \cdot \frac{3000}{5} = 2,7 \text{ А.}$$

где $K_{отс} = 1,2$; $K_B = 0,95$;

Тока срабатывания МТЗ согласованный с защитой отходящих линий электропередачи напряжением 6 кВ:

$$I_{сз.В6} = K_{нс} \cdot (0,7 \cdot I_{ном.НН} + I_{сз.отх.линии}) / K_{ТТ.НН1(НН2)}, \quad (7.13)$$

$$I_{сз.В6} = 1,1 \cdot (0,7 \cdot 1833 + 3000) / \frac{3000}{5} = 7,85 \text{ А.}$$

где $K_{нс} = 1,1$;

Принимаем большее из полученных значений равное $I_{сз.В6} = 7,8 \text{ А}$.

Выдержка времени:

$$t_{сз.В6} = t_{сз.отх.линии} + \Delta t, \quad (7.14)$$

$$t_{сз.В6} = 1,2 + 0,4 = 1,6 \text{ с.}$$

где $\Delta t = 0,4 \text{ с}$.

2-я ступень МТЗ.

Ток срабатывания МТЗ с учетом отстройки от номинального тока нагрузки:

$$I_{сз.В6} = K_{отс} \cdot I_{ном.НН} / K_B \cdot K_{ТТ.НН1(НН2)}, \quad (7.15)$$

$$I_{сз.В6} = 1,2 \cdot 1833 / 0,95 \cdot \frac{3000}{5} = 3,85 \text{ А.}$$

Ток срабатывания МТЗ согласованный с защитой отходящих линий электропередачи напряжением 6 кВ:

$$I_{сз.В6} = K_{нс} \cdot (I_{ном.НН} + I_{сз.отх.линии}) / K_{ТТ.НН1(НН2)}, \quad (7.16)$$

$$I_{сз.В6} = 1,1 \cdot (1833 + 3000) / \frac{3000}{5} = 8,86 \text{ А.}$$

Ток срабатывания МТЗ согласованный с МТЗ секционного выключателя 6 кВ

$$I_{сз.В6} = K_{нс} \cdot (I_{сз.В6}) / K_{ТТ.НН1(НН2)}, \quad (7.17)$$

$$I_{сз.В6} = 1,1 \cdot (5316) / \frac{3000}{5} = 9,74 \text{ А.}$$

Принимаем большее из полученных значений равное $I_{сз.В6} = 10 \text{ А}$.

Выдержка времени:

$$t_{сз.Т} = t_{сз.В62\text{-ступень}} + \Delta t, \quad (7.18)$$

$$t_{сз.Т} = 1,9 + 0,3 = 2,2 \text{ с.}$$

Параметр срабатывания минимального ИО напряжения

«Первичное напряжение срабатывания минимального ИО напряжения выбирают исходя из обеспечения возврата реле после отключения внешнего короткого замыкания» [15]:

$$U_{сз.} \leq \frac{U_{\min}}{K_{отс} \cdot K_B}, \quad (7.19)$$

$$U_{сз.} \leq \frac{0,85 \cdot 100}{1,2 \cdot 1,2} = 59,02 \text{ В.}$$

«Первичное напряжение срабатывания минимального ИО напряжения выбирают исходя из отстройки от напряжения самозапуска при включении от АПВ или АВР заторможенных двигателей нагрузки» [15]:

$$U_{сз.} \leq \frac{U_{зан}}{K_{отс}}, \quad (7.20)$$

$$U_{сз.} \leq \frac{0,7 \cdot 100}{1,2} = 58,3 \text{ В.}$$

где $U_{\min} = 0,85 \cdot U_{ном}$; $U_{зан} = 0,7 \cdot U_{ном}$; $K_{отс} = 1,2$; $K_B = 1,2$;

Принимаем меньшее из полученных значений напряжения $U_{сз} = 58 \text{ В}$.

Выполняем проверку коэффициента чувствительности при металлическом КЗ расчетного вида в расчетной точке:

1я ступень

$$K_{\eta} = \frac{I_{к.мин1}^{(2)}}{I_{сз.В61-ступень}}, \quad (7.21)$$

$$K_{\eta} = \frac{\sqrt{3} / 2 \cdot 25000}{4680} = 4,62 \geq 1,5.$$

2я ступень

$$K_v = \frac{\sqrt{3} / 2 \cdot 25000}{6000} = 3,6 \geq 1,5.$$

7.1.5 МТЗ с комбинированным пуском по напряжению СТ со стороны
ВН

Ток срабатывания МТЗ с учетом отстройки от $I_{ном}$ СТ

$$I_{сз.В110} = \frac{K_{отс} \cdot I_{ном}}{K_B \cdot K_{ТТ.ВН}}, \quad (7.22)$$

$$I_{сз.В110} = \frac{1,2 \cdot 200,82}{0,95 \cdot 600 / 5} = 2,11 \text{ А.}$$

где $K_B = 0,95$;

Определим ток срабатывания МТЗ согласованный с МТЗ НН

$$I_{сз.В110} = \frac{K_{отс} \cdot I_{сз.В6}}{K_{ТТ.ВН}}, \quad (7.23)$$

$$I_{сз.В110} = \frac{1,1 \cdot 6000 \cdot (6,3 / 115)}{600 / 5} = 3,01 \text{ А.}$$

где $K_{отс} = 1,1$;

Принимаем большее из полученных значений равное $I_{сз.В110} = 3,0 \text{ А}$.

Выдержка времени при отключенном положении секционных
выключателей:

$$t_{сз.В110} = t_{сз.В6 \text{ 1-ступень}} + \Delta t, \quad (7.24)$$

$$t_{сз.В110} = 1,6 + 0,3 = 1,9 \text{ с.}$$

Выдержка времени при включенном положении секционных выключателей:

$$t_{сз.В110} = t_{сз.В6 \text{ 2-ступень}} + \Delta t, \quad (7.25)$$

$$t_{сз.В110} = 1,9 + 0,3 = 2,2 \text{ с.}$$

Коэффициент чувствительности МТЗ ВН находим из выражения:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мин}}^{(3)}}{I_{сз.В110}}, \quad (7.26)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{25000 \cdot (6,3 / 115)}{360} = 3,8 \geq 1,2.$$

Выводы по разделу: произведен расчет уставок микропроцессорной защиты, на подстанции приняты к установке шкафы релейной защиты ШЭ2607 с терминалами БЭ2704, выпускаемыми НПП «ЭКРА».

8 Расчет суммарных электрических нагрузок системы собственных нужд ГПП

«На подстанциях приемниками энергии системы собственных нужд являются: электродвигатели системы охлаждения трансформаторов и синхронных компенсаторов; устройства обогрева выключателей и шкафов КРУ и КРУН с установленными в них электрическими аппаратами и приборами; электродвигатели компрессоров, снабжающих воздухом пневматические приводы; вентиляция; электрическое отопление и освещение; система пожаротушения; оперативные цепи.

В зависимости от типа, мощности ПС питание потребителей собственных нужд осуществляется от специально установленных трансформаторов собственных нужд» [17].

К нагрузкам собственных нужд ПС относятся:

- система охлаждения СТ - 29,7 кВт;
- подогрев, освещение и вентиляция ОПУ - 59,9 кВт;
- подогрев, освещение и вентиляция ЗРУ 6 кВ - 6,8 кВт;
- подогрев, освещение и вентиляция помещения для линейной бригады - 5,7 кВт;
- наружное освещение ОРУ 110 кВ - 2,6 кВт;
- подогрев шкафов РЗ - 1,1 кВт;
- подогрев приводов разъединителей и высоковольтных выключателей - 0,5 кВт;

Суммарная нагрузка СН ПС составляет 187,3 кВт.

Определим мощность трансформаторов собственных нужд ПС:

$$S_{Т.С.Н.} = k_3 \cdot \sum P_{i.С.Н.}, \quad (8.1)$$

$$S_{Т.С.Н.} = 0,7 \cdot 189,7 = 132,79 \text{ кВА.}$$

Выводы по разделу: принимаем к установке два СТ с $S_{ном}=145$ кВА.

Заключение

В ВКР рассмотрены вопросы реконструкции главной понизительной подстанции 110/6 кВ ПАО «КОС», направленные на повышение надежности электроснабжения потребителей, получающих питание от подстанции. В ходе выполнения работы был составлен суммарный годовой график нагрузки подстанции и определены его показатели. Поскольку основная часть потребителей химического предприятия, получающего питание от ГПП относится к 1й категории по надёжности электроснабжения, на ГПП были выбраны два силовых трансформатора. Исходя из минимальной величины приведенных затрат на установку трансформаторов ГПП выбран первый вариант из двух рассмотренных с установкой двух силовых трансформаторов с расщепленной обмоткой низкого напряжения типа ТРДН- 40000/110/6/6. С целью надежного и бесперебойного энергоснабжения заводов и производств из схем электроснабжения требуется исключить системы «отделитель – короткозамыкатель», поэтому на стороне ВН ГПП принимается схема с двумя блоками с применением высоковольтных выключателей. Рассчитаны токи КЗ на сторонах ВН и НН ГПП. Полученные значения использовались для проверки нового оборудования и проводников, устанавливаемых на ГПП. На подстанции выбраны шкафы релейной защиты ШЭ2607 с терминалами БЭ2704, выпускаемыми НПП «ЭКРА», для которых был выполнен расчет уставок. Определены нагрузки системы собственных нужд подстанции и выбраны трансформаторы собственных нужд.

Список используемых источников

1. Афонин В. В., Набатов К. А. Электрические станции и подстанции: учеб. пособие. В 3 ч. Ч. 1. Тамбовский гос. техн. ун-т. Тамбов : ТГТУ : ЭБС АСВ, 2015. 90 с.
2. Немировский А.Е., Сергиевская И.Ю., Крепышева Л.Ю. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций: учебное пособие. М: Инфра-Инженерия. 2018. 148 с.
3. Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35 - 750 кВ. М. : ЭНАС. 2017. 80 с.
4. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. М.: ИНФРА-М. 2017. 262 с.
5. Официальный сайт ПАО «Казаньоргсинтез». Завод бисфенола. URL: <https://www.kazanorgsintez.ru/proizvodstvo/zavod-po-proizvodstvu-bisfenola.php> (дата обращения 16.04.2020).
6. Кулеева Л.И., Митрофанов С.В., Семенова Л.А. Проектирование подстанции: учебное пособие. Оренбург: Оренбургский государственный университет. ЭБС АСВ. 2016. 111 с.
7. Whitaker J.C. AC power systems. 4rd ed. California: CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, 2014. 428 p.
8. Правила устройства электроустановок. Раздел 4. Распределительные устройства и подстанции. Главы 4.1, 4.2. [Электронный ресурс]. - 7-е изд. - Электрон. текстовые данные. - М.: ЭНАС, 2013. - 104 с. ISBN 978-5-4248-0036-8.
9. СТО 56947007- 29.240.30.047-2010 Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций 35 - 750 кВ. Дата введения 16.06.2010. URL: <http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29.240.30.047-2010.pdf> (дата обращения 12.04.2020).

10. Danilova O.V., Belayeva I.Y. The power grid complex of Russia: From informatization to the strategy of digital network development // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. pp. 42-53.

11. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебное пособие. М.: Форум, 2015. 368 с.

12. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий : учебник. 5-е изд., перераб. и доп. М. : ИНФРА-М, 2019. 405 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/1003810> (дата обращения: 13.03.2020).

13. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С., Дубов А.Л. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: учебное пособие. М.: Форум, 2019. 496 с.

14. Кузнецов С.М. Проектирование тяговых и трансформаторных подстанций : учебное пособие. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013. 92 с.

15. Кобелев А.В., Кочергин С.В., Печагин Е.А. Режимы работы электроэнергетических систем : учебное пособие для бакалавров и магистров направления «Электроэнергетика». Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. 80 с.

16. Meier A. von. *Electric power systems: a conceptual introduction*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2016. 328 p.

17. Старшинов В.А., Пираторов М.В., Козина М.А. Электрическая часть электростанций и подстанций: учебное пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. 296 с.

18. IEEE Recommended Practice for Calculating Short-Circuit Currents in Industrial and Commercial Power Systems. IEEE Std 551. NY: IEEE, 2013. 300 p.

19. Кудряков А.Г., Сазыкин В.Г. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах : учебник. Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2018. 263 с.

20. Yatsuk V., Mykyjchuk M., Bubela T. Ensuring the measurement efficiency in dispersed measuring systems for energy objects // Studies in Systems, Decision and Control. 2019. pp. 131-149.

21. Шеховцов В.П. Электрическое и электромеханическое оборудование : учебник, 3-е изд. М. : ИНФРА-М, 2018. 407 с.